

JAERI-M

8756

高速炉臨界実験装置(FCA)の改造・I

—仕様・製作・試験検査—

1980年3月

渡辺 秀明・藤崎 伸吾・小川 弘伸・吉藤 久

中村 知夫

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

高速炉臨界実験装置 (FCA) の改造・I

—仕様・製作・試験検査—

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部

渡辺秀明・藤崎伸吾・小川弘伸

吉藤 久・中村知夫

(1980年2月1日受理)

高速炉臨界実験装置 (FCA) は、高速増殖炉開発における炉心設計に関する炉物理的諸問題を実験的に解明するために計画され、昭和42年3月に完成した零出力炉である。型式は、不銹鋼製中空角管を35行×35列に積み上げた、水平テーブル2分割型である。

FCA は、昭和42年4月の初臨界以来、種々の炉物理的ベンチマーク実験、高速実験炉の炉物理、炉工学的モックアップ実験および高速原型炉のゾーン装荷による炉物理的モックアップ実験とフルに活用されて来た。

しかし、最近の高速炉物理の研究対象の大型化により、原型炉およびそれ以降の炉型の空間依存特性の実験を行うには、格子管集合体の寸法が不足である。このため、いろいろ検討した結果、集合体寸法を51行×51列に拡張することとした。これにより、組込み可能炉心容積は一挙に約3倍になる。

拡張は、旧格子管集合体の周囲を新規製作の格子管8層で取り囲むことにより行う。既設格子管集合体を一旦完全に解体するのを機会に、新格子管集合体では、中心3×3格子管引抜可能構造、径方向格子管およびドップラー実験用特殊チャンネルの新設の新機能を加えた。また炉心が大型になるため、制御安全棒機構も新たに二連引抜き機構を工夫し、その取付配置もそれに適するように改めた。その他温度測定系などの計測系および附属設備にいくつかの改良・変更を行った。

本報では、以上の改造について、その仕様、製作組立および検査結果を詳しく述べ、併せて新旧二種の格子管を用いたため、精密な格子管集合体組立ての過程におきたいくつかの問題点とその解決について記してある。

結果としては、幾多の難問を克服し、集合体拡張および装置改造を旧格子管集合体建設時と同等或はそれ以上の精度で達成し、多くの新機能を追加して昭和50年6月完成した。

その後の4年半において、各種の炉心実験を通じて長期にわたる使用経験をつみ、性能確認を行って格子管拡張および改造が十分満足ゆくものであるとの結果を得た。

Enlargement Work on the FCA (I)

Hideaki WATANABE, Shingo FUJISAKI, Hironobu OGAWA
Hisashi YOSHIFUJI and Tomoo NAKAMURA

Division of Reactor Engineering,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received February 1, 1980)

Recent reactor physics interest of demonstration class fast reactors is in space dependent quantities such as detailed radial reaction rate distribution, the effect of geometrical arrangement of safety rods and radiation doses in the peripheral constituents of reactor.

The original FCA machine was not large enough in size for experiments for the Monju project, so enlargement and modification of the facility were carried out.

A concept of the enlargement was adding 8 layers of standard size square stainless-steel tubes on all sides of the 35 x 35 matrix to form a cross section of 51 rows by 51 columns measuring 2.82m square. Furthermore, several improvements of the matrix assembly were made, i.e. a removable central bundle of 3 x 3 tubes, a special channel for Doppler experiment in the central core axis and a radial direction matrix tube in the central plane.

For the remodeled FCA, this report describes specifications, assemblage procedure and test results, and also the problems arisen and the means for solution.

Keywords: Fast Critical Assembly, Enlargement, Reactor Lattice,
Specifications, Mechanical Structure, Modification,
Doppler Experiment, Performance Test, Monju

目 次

1. はじめに	(担当 中村).....	1
2. 格子管集合体		7
2.1 標準バンドル管	(担当 渡辺).....	7
2.1.1 標準バンドル管および周辺大格子管仕様		7
2.1.2 単格子管仕様および製作		7
2.1.3 単格子管検査および粒界腐蝕		8
2.1.4 標準バンドル管の試作		8
2.1.5 単格子管の再加工		9
2.1.6 標準バンドル管・大格子管の製作および検査		10
2.2 中心バンドル管	(担当 渡辺).....	11
2.2.1 中心バンドル管の仕様の決定		11
2.2.2 中心バンドル管の試作		12
2.2.3 中心バンドル管荷重試験(1)		13
2.2.4 中心バンドル管荷重試験(2)		16
2.3 35 × 35 格子管集合体	(担当 渡辺).....	17
2.3.1 35 × 35 格子管集合体寸法検査		18
2.3.2 テーブル精度検査		19
2.3.3 テーブル駆動機構の性能確認		19
2.4 51 × 51 格子管集合体	(担当 吉藤).....	49
2.4.1 35 × 35 格子管集合体の解体および 51 × 51 格子管集合体の組立		49
2.4.2 中心バンドル管の組込み調整および検査		49
2.4.3 51 × 51 格子管集合体組立後の調整および検査		53
2.4.4 テーブル荷重試験		54
3. 安全棒二連引抜機構	(担当 藤崎).....	86
3.1 概 要		86
3.2 安全棒二連引抜機構の検討		86
3.3 安全棒二連引抜機構の強度計算		88
3.4 安全棒二連引抜機構の設計および試験		89
3.5 現地試験		93
4. 制御安全棒駆動機構支持板および支持棒	(担当 藤崎).....	110
5. 炉心冷却設備	(担当 藤崎).....	118
6. 周辺構成機器	(担当 小川).....	127
6.1 炉心内温度測定装置		127
6.2 核計装および周辺付属機器		136

6.3	中心径方向単格子管および実験孔用スリーブ管その他	143
7.	むすび	146
	謝 辞	146
	参考文献	146
	付 録	147

Contents

1. Introduction	1
2. Matrix Tube Assembly	7
2.1 Standard Bundle	7
2.1.1 Specification of Standard Bundle and Surrounding Large Bundle	7
2.1.2 Specification & Production of Single Matrix Tube	7
2.1.3 Single Matrix Tube Inspection and Grain Boundary Corrosion	8
2.1.4 Trial Manufacture of Standard Bundle	8
2.1.5 Twice Process of Single Matrix Tube	9
2.1.6 Production & Inspection of Standard Bundle, Large Bundle	10
2.2 Central Bundle	11
2.2.1 Decision of Central Bundle Specification	11
2.2.2 Trial Manufacture of Central Bundle	12
2.2.3 Central Bundle Load Test (1)	13
2.2.4 Central Bundle Load Test (2)	16
2.3 35×35 Matrix Tube Assembly	17
2.3.1 Dimension Inspection	18
2.3.2 Table Accuracy Inspection	19
2.3.3 Performance Validation of Table Drive Mechanism	19
2.4 51×51 Matrix Tube Assembly	49
2.4.1 Tear Down of 35×35 Matrix Tube Assembly and Assemble of 51×51 Matrix Tube Assembly	49
2.4.2 Assemble Adjustment and Inspection of Central Bundle ...	49
2.4.3 Final Adjustment and Inspection of 51×51 Matrix Tube Assembly	53
2.4.4 Table Load Test	54
3. New Type Safety Rod Drive Mechanism	86
3.1 Summary	86
3.2 Study of Simultaneous Drive of Two Safety Rods	86
3.3 Strength Calculation	88
3.4 Design and Test	89
3.5 Field Test	93

4. Support Plate and Support Frame of Safety Rod Drive Mechanism ..	110
5. Core Cooling System	118
6. Peripheral Equipment	129
6.1 Core Temperature Measurement Equipment	129
6.2 Nuclear Instrumentation and Peripheral Attached Instrumentation	136
6.3 Special Matrix Tube for Central Radial Experiment and Sleeve for Experimental Hole, etc.	143
7. Conclusion	146
Acknowledgment	146
References	146
Appendix	147

1. はじめに

FCA (高速炉臨界実験装置) はわが国における高速増殖炉開発研究の一環として、炉物理的諸問題を実験的に解明するために昭和 35 年に立案され、その後種々の検討を経て昭和 38 年に着工、42 年 3 月に完成を見た実験装置である。

型式はテーブル分離型で固定テーブル、移動テーブルおよびそれを支え、移動させるベッドと駆動機構があり、各テーブルの上に厚さ 1 mm、外辺寸法 55.2 mm の長さ 1324 mm の不銹鋼製中空角管を水平に 35 行、35 列の格子状に積み上げ支持枠で固定した 1/2 格子管集合体が載っている。この角管のそれぞれに燃料および炉心模擬物質を装填した引出しを装荷して形状、組成および濃縮度を模擬した種々の炉心を構成する。停止時および燃料装荷時には安全のために両 1/2 格子管集合体は分離されているが、運転時には密着し 1.9 m × 1.9 m × 2.6 m の格子管集合体を形成する。水平分離型なので制御安全棒要素は固定側、移動側両 1/2 集合体それぞれの反密着面側に独立に設けられている。

昭和 42 年 4 月の初臨界以来、小型高速炉系、中速炉系およびベンチマーク炉心系による基礎的核特性の諸測定、また、昭和 44 年度末に Pu 燃料使用のための格子管集合体冷却設備などの改造を施して、高速実験炉「常陽」の炉物理および炉工学的モックアップ実験、および高速原型炉「文殊」のゾーン状装荷による炉物理的モックアップ実験、と基礎的研究および応用的研究に国内における唯一の高速炉用臨界実験装置としてフルに活用されて来た。そして組込まれる炉心の容積も燃料の増加とともに第 I 炉心の 33 ℓ から最新の第 VI 炉心の 630 と着実に増大を続けて来た。

しかしながら最近、研究の対象が原型炉あるいはそれ以上の実用炉級の大型炉心での問題に重点が置かれるようになり、しかも測定の対象が従来どちらかと云えば、主であった断面積の問題即ち、組成依存量のみでなく、形状寸法に関連する空間依存量、例えば、炉内の反応率の空間分布や制御安全棒の配置あるいは干渉効果に関する事項も重要になって来ると、より小さい炉心における実験からの外挿では精度が悪く、幾何学的形状模擬、即ちフルサイズモックアップの必要性が生ずる。FCA 35 行 × 35 列格子管集合体の寸法は 1.9 m 角で厚さ 30 cm のブランケットを設け、炉心軸長を 90 cm とした場合の組込可能な最大炉心は直径 130 cm、容積 1,250 ℓ である。これは原型炉「もんじゅ」の等価炉心半径 176 cm、炉心容積 2,000 ℓ にも遠く及ばない。さらに最近では、実用上の意味から単に炉心内のみではなく、ブランケット、反射体さらにその外側の遮蔽体その他での問題を取り扱うことも必要になっている。こうした諸情勢から FCA 格子管集合体拡大の要求が高まって来た。こうして昭和 46 年に正式に格子管集合体拡大の要求が出され、昭和 47 年動燃関係ではあるが予算が認められたので昭和 47 年末から拡大作業グループを編成し具体的な作業に入った。

次に拡大の基本的な構想について述べる。FCA は建設当時、すでに将来においての原子炉の大型化の予想があり、それに備えて装置を大型にしておくという考えがあった。しかしその当時の予算規模、燃料入手状況、研究計画等からみて、いっきにそのような大型装置を実現出来る状態

ではなかった。そこで設計上炉心を組み込む格子管集合体は 35 行×35 列にするが、それを載せる架台等の建家の関係上、後での取替えが困難なものや、建家そのものは将来の拡張に備えて 51 行×51 列格子管集合体が組めるように作成してあった。現時点での実験上の予想からはこれでも実は十分な大きさではなく、諸外国においても大型高速炉研究のため臨界実験装置を大型化している状況からみて、改造するならばもっと大型のマシーンをという考えもあった。しかし、再び費用、燃料インベントリーおよび工事の難しさによる工期の長期化の観点から装置を根本的に改造することは見送らざるを得なかった。従って今回の拡大工事においてはテーブル・ベッドの架台関係は従来と変更せず、その上に組み上げられている格子管集合体および附属設備部分の改造が行われることとなった。

改造の内容は基本的には、新規に拡張分の単管を製作し、それらからバンドル管を組み立て、それらを在来の旧バンドル管と組合わせて 51 行×51 列格子管集合体を構成して所定の精度に仕上げることである。

Fig. 1 に 51 行×51 列格子管集合体の断面図を示す。比較のために 35 行 35 列格子管集合体と「もんじゅ」の炉心の輪廓も合わせて書かれている。この拡大により寸法は 2.8 m 角になり、前と同じように 30 cm のブラケット付で、炉心軸長を 90 cm に固定した場合の組込可能最大炉心は直径 220 cm、容積 3,470 ℓ となり約 3 倍の大きさの炉心まで実験出来るようになる。従って拡張した格子管集合体で「もんじゅ」を模擬したときは寸法的にはブラケットまで十分に模擬できる。しかし、反射体まで集合体内に組むとなると若干寸法が足りない。

格子管集合体の拡大そのものは実行面はともかく、原理的には上記の如く比較的単純な過程である。しかし、バンドル管の組み替えを機会に格子管集合体に新しい機能を加えて実験の多様化精密化をはかることとした。このためにいろいろの提案がなされ、検討されたが実現の難度および実験上の効用を勘案して最終的に採用されたのは以下の三つである。

i) 中心部 3 行×3 列格子管の除去可能な構造

FCA の燃料要素の単位は、その構造上二吋角であって、それ以上大きなものを模擬する場合には、この単位を適当に組合わせて用いる。しかし、これでは FCA 標準板状燃料要素を用いるとき以外は不便であり、単位の格子管が邪魔である。そこで中心部の 3 行×3 列炉心部がすっぽりとれる構造にし、そこにフリースペースを作れるようにすると、適当なカランドリアを用いることにより、例えば、実際の六角格子ピン状燃料サブアセンブリ内での中性子束の微細構造のマッピングが可能になる。また、炉心中央に従来入れられなかった大きさのサンプル、あるいは検出器を入れる特殊用途の実験も出来る等その有用性は大きい。

ii) 中心径方向格子管の新設

従来 FCA 格子管集合体の中心水平一列は 1 燃料ピッチ (50.8 mm) だけ格子管が取り外せる構造になっていて FCA の大きな特長になっている。通常実験時は短格子管をはめ込んで他の部分と全く変りはないが、必要に応じて取り外すことにより、炉心部任意位置へのパルス中性子源のターゲット部の挿入やスペクトル測定におけるビーム取出しに使われて来た。今回この機能をさらに拡充して、短格子管を取り除いて出来た空間に径方向格子管を装着することにより、この空間に標準サイズの燃料を入れた引出しを径方向から挿入出来るようにする。これによって例えば、径方向の反応率分布の箔照射において多量の燃料引出しを扱うことなく実験出

来る。また、大型サンプルの自動挿入等径方向からのアクセス出来る効果は極めて大きい。

iii) 中心軸上の特殊チャンネルの新設

格子管集合体の中心軸チャンネルはその性格上、種々の実験に用いられるが、例えばドップラー実験の如く、格子管内で試料および燃料を入れた引出しを自動的に移動させる場合、通常引出しより強度のある肉厚の引出しを用いる関係上、標準サイズの燃料要素が使えない不便さがあった。この欠点を除くために中心バンドル管を新規に作成するにあたり、その中心の単格子管を取除いてバンドルする構造とし、これにより広くなった分を利用して強度を持ちかつ標準寸法の燃料が入る引出しを用いられるようにする。これはドップラー実験に限らずいろいろな実験に利用が考えられる。

格子管集合体が大きくなり、それに組み込まれる炉心が大きくなると附属の諸設備にも当然影響するが、単に格子管集合体に合わせて寸法が大きくなるだけではなく、制御安全棒系統および炉心冷却系統に考え方の上で変化が生ずる。

まず制御安全棒系統の場合二つの問題がある。

- i) 制御安全棒取付の位置および範囲
- ii) 制御安全棒引出し一本当りの反応度値の減少

i)の問題はこれ迄の制御安全棒駆動機構の取付が比較的小型の炉心を対象としているため、配置および取付可能台数に制限がある。従って、駆動機構支持板および支持棒を全面的に更新して大型炉心配置に適し、かつ ii) の問題の解決にも役立つものとする。更にこの配置に関しては将来組まれる炉心系がこれ迄より複雑なゾーン系あるいはセクター系になるのでこれに対処出来るようにする必要がある。

ii)の問題は炉心は大きくなっても制御棒引出し寸法は変わらないため必然的におこってくる。FCA では、制御要素に炉心物質そのものを用いており、安全上の規制から安全棒の反応度値および密着時の未臨界度が定められているため、炉心が大きくなればなる程事態は深刻になる。これを解決するためにいくつかの方法が考えられる。

- a) 制御安全棒および駆動機構の増設
- b) 一本当りの制御反応度値の大きい B-10 あるいはそれに替る吸収型の安全棒機構を新設する。
- c) 制御安全棒引出し中の燃料濃度を周りの炉心より増して一本当りの反応度値を高める。
- d) 一台の駆動機構で多数本の制御安全棒引出しを駆動する。

等である。

a) は駆動機構台数を大巾に増加させることは系を繁雑にするため保守上に問題があり、また位置指示、操作スイッチ等の増設で制御盤の大巾改造も含み費用上無理である。

b) は原理的にすぐれているが B-10 が高価なことから、安全棒駆動機構の新規設計からはじめて信頼度などの性能確認を行って採用を決めるには今回は時間的な制約から難点がある。

c) は一番簡単で安上りであるが制御要素と周りの炉心の燃料密度が大巾に異なることは、実験上そこに特異点が出来てしまい補正実験が必要になる等望ましくない。

このような検討から今回の改造に当っては当面 d) の方式を採用することとし、具体的には駆動機構の軸を中心として対向する 2 本の引出しを連結具を介して一つの駆動機構で動かすいわ

ゆる二連引抜き方式とする。

次に、冷却設備系統では冷却流路、冷却能力と炉内温度測定系の問題がある。冷却流路に関して格子管集合体内では、集合体自身は大きくなっても単一の格子管構造は、特に変更はないのでその部分の流れは変わらない。変化があるのは、格子管集合体と制御棒支持板の間に設けられたプレナムである冷却室で両者とも寸法が増すので従来のものは使えず新設しなければならない。冷却能力即ち排風機関係については、Pu 使用量が増えれば発熱量が大きくなること、および実験精度と能率上炉心内温度上昇を出来るだけ低く抑えるのが望ましいこと、の理由で拡大工事に際して増力が考えられた。しかし、i) 排風機による炉室内騒音問題が未だ解決していないこと、ii) 炉心が大きくなると総発熱量が増える場合でも発熱密度は逆に減り、単位チャンネル当りの温度上昇は少なくなること、iii) 現在の手持 Pu 量による発熱に対し、設計冷却能力は約 20% 余裕があること、iv) 排風機関係は格子管集合体と直接つながっていないため、改造は比較的容易で Pu 量が増えた時点で対処出来ることのために今回の改造では変更は加えないこととする。

核計装系およびその他の計測系に関しても今回の改造は格子管集合体拡大に主眼があり、今後比較的容易に取り替えまたは、新設出来るものについては手をつけなかった。そのため核計装設備その他は、これまでのものを位置変更だけして用いる。しかし、炉心温度測定系に関しては、i) 格子管集合体内に設置されていること、ii) 建設当初 6 点、Pu 用改造時に 3 点の測定点が設けられているが、大型炉心に対して絶対数が足りないこと、iii) 設置位置範囲が狭く種々の炉心パターンに十分対応し得ないこと、iv) 設備の老化があることから、全面的に更新し 18 系統を設け、表示系についても点数が増加したので、これまでのアナログ表示に並列にデジタル化をし、小型計算機に入力出来るようにする。

主な改造点は上に述べた通りであるが、その他に格子管集合体の寸法変化に伴って、実験孔スリーブ管、中性子源スリーブ管およびフレキシブルシャフトの更新、生体遮蔽体支持棒改造等がある。

仕様の概要は、前項までに述べた通りであるが、具体的に改造を行う上では 1) FCA が現在稼働中の原子炉であり、精力的に実験を遂行中であって、工事のための停止期間を出来るだけ少なくしたいこと、2) 製作時期および製作過程、従って形状や寸法の若干異なる二種類の格子管を組み合わせ用いて所定の精度に組み上げねばならないこと、3) 新規製作と違って今回の改造では、集合体架台、同締付棒が現地にしかないために、予め工場において組立て試験を行い、条件を定めるため調整加工を施すことが出来ず、作業の大部分を現地工事一発で決めなければならないこと、4) しかるに据付精度は実験精度上の要求から通常の機器の据付と異り、非常に厳しいこと、5) 中心格子管など R & D が必要でしかも最終的に組込んでみなければ良否が判定出来ないものがあること、等いくつかの問題点があり、計画を十二分につめておく必要があった。このため期間を三つに分け、第 1 期を仕様作成、部品製作、工場単品試験検査、第 2 期を 35 行 × 35 列 FCA の運転停止、全装荷燃料の装脱、検査、収納、格子管集合体の除染、清掃および工事用の養生、機器移動等の工事前準備、第 3 期を 35 行 × 35 列 FCA の精度確認試験、解体、51 行 × 51 列格子管集合体の組上げ、調整、加工等の現地工事および検査、試験に分けてそれぞれに担当責任者をおいて準備、スケジュール調整、作業の推進をはかった。

改造工事の経過について簡単に要約する。

昭和 47 年 10 月に拡大担当グループが発足、見積りのための仕様書の作成作業に入り、同 11 月末にこれを製作者（富士電機製造（株）：以下 Fuji）に提示し、同 12 月 Fuji より見積り仕様書が提出された。この仕様書は単純に格子管集合体を拡大するだけのもので、中心格子管および安全棒二連引抜き等新規のものは R & D の要素があるので翌 48 年 1 月に別枠の追加仕様見積りを依頼した。これについての仕様、製作法等技術的検討を Fuji と進め、これの進みに合わせて同 4 月から 5 月にかけて拡大工事の所内安全審査を受けた。追加仕様の取扱いやつめについての合意と費用についての事務的問題に時間がかかり、長期間を要する単格子管の製作がおくると全体の工程にひびくので、同 8 月単格子管のみ先行契約を行った。その間、契約仕様作成のつめが行われ、同 10 月最終的に追加仕様も含めて一本で最終原研側仕様書が提示されて同 11 月 Fuji との契約が成立した。契約金額：1 億 2,850 万円、納期：昭和 49 年 12 月 20 日、現地工期 5.5 ケ月である。

契約締結にさきだち、技術部工作課に協力依頼を出し、技術的諸問題に対しコンサルタントとして協力を得ることとなり、FCA 担当者とともに同 11 月から設計仕様確認、技術検討が始められた。またこの間単格子管の製造が進められ、同 12 月から 49 年 3 月にかけて約 3,000 本が作られた。本工事でもっとも問題となる中心 3 行×3 列引抜きのための中心バンドル管の試作も単格子管の出来をまって直ちに始められ、諸ステップにおける結果が Fuji および原研側で検討された。同月中心バンドル管試作と並行して進められていた通常バンドルが工場検査で寸法精度上問題があり、単格子管の寸法にまでさかのぼって Fuji および原研側で種々検討が加えられ、同 6 月から 9 月にかけて解決への努力がなされた。また同 4 月から工場および現地検査試験仕様の検討が両者の間で進められた。前記バンドル間の問題で現地工事着工が予定より大巾にずれたが同 9 月おおよその見通しがついたので、それまで続けていた VI-3 炉心の実験を終了し、35 行×35 列 FCA の運転を最終的に打ち切り全装荷燃料を装脱、収納した。引続き炉本体、炉室の全面的除染、機器の養生を行ったのち FCA を Fuji 現地工事責任者の管理下に移した。

現地工事については、参考文献 (1) に独立してまとめたので詳細ははぶくが、まず 35 行×35 列 FCA の解体前に性能確認検査を行い、ついで安全棒二連引抜き方式の試作品の試験を行ったのち、同 10 月はじめ格子管集合体の解体に入った。同 12 月から新格子管集合体組立てを開始し、各ステップごとに組立て、中間検査を繰返しながらか進め、昭和 50 年 4 月に据付完了、この間、工場に検討製作された安全棒二連棒連結金具もととりつけて、引続き組立後試験検査に入った。ここで荷重検査の結果、格子管集合体にさらに手直しが必要となり、工期が延びて、昭和 50 年 6 月末最終的に完成となった。

完成後、必要な官庁手続きを終え、ただちに VII-1 集合体“Monju”模擬炉心の臨界近接作業に入り、同 7 月 18 日 9 ケ月ぶりに再び臨界となった。それ以来特性試験 I、II を終り新しい実験に入って現在に至っている。

以上述べたように FCA 格子管集合体はいくつかの問題点に遭遇したが、これを克服して無事当初の目的通りの完成にこぎつけ、またその後約 4 年間の運転を順調に経過して、長期的な観点からの評価も固った。

本報告において、仕様作成から始まり、作業上どのような問題がおこり、それをどのように解

決したかを正確に記録し、今後の FCA の有効な利用および変更のときの参考に現時点での性能要目、使用上注意すべき点ならびに運転再開後得られた知見をまとめた。

報告の作成は実際に作業を担当した者がその部分をまとめる形式をとった。本文は5章に大別され、はじめの章部は、1：格子管集合体関係、2：制御安全棒二連引抜関係、3：制御安全棒駆動機構支持板関係、4：冷却系統関係、5：計装およびその他附属諸設備関係で実際の設備の改造、改良点を仕様から製作、組立て試験にわたって述べてある。またこの工事の大きな部分が現地工事で上記五区分がそれぞれからみあって進行し、工程管理が大きな仕事であったのでこの見地から別に総合組立として参考文献(1)にまとめた。詳しくはこの資料を参照すると流れが良く解る。また、改造完了後に行われた VII-1 炉心により炉特性を詳細に測定し、かつ精度評価等について総合的にまとめた報告書文献(2)を出してあるので、詳しくはこの報告書を参照されたい。

このような構成をとった関係上それぞれの章に関連はあるが、全体の流れに納めきれない部分は別に Appendix としてまとめた。なお旧 35×35 格子管集合体建設のとき詳しいレポートが作成されていないで同じ手法をとった場合でももう少し詳しく記述することとした。最後に改造工事完成時の FCA 外観写真を付す。

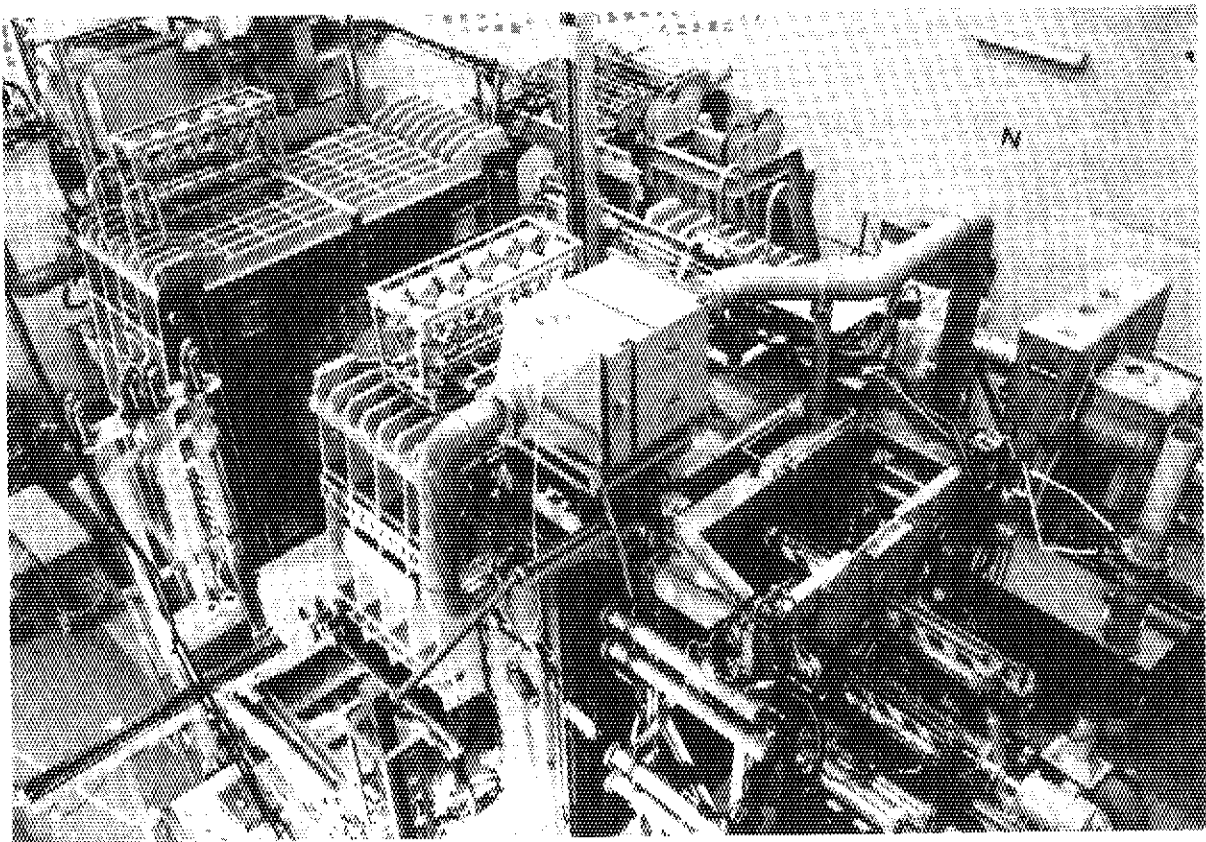


PHOTO. 1 FCA 改造工事完成外観図

2. 格子管集合体

第2章では、格子管集合体の改造のうち、標準バンドル管の製作経過、中心バンドル管の製作および荷重試験経過、 35×35 格子管集合体の現在状態確認試験と 51×51 格子管集合体の組立調整試験について述べる。

2.1 標準バンドル管

拡大した 51×51 格子管集合体は、既設 35×35 格子管集合体の周辺に新規に製作するバンドル管、大格子管を配置した構造になる。Fig. 1 にその配置を示す。

51×51 格子管集合体全体は中心バンドル管、標準バンドル管、および周辺大格子管によって構成される。この中で中心バンドル管は、特殊な性格をもつため次章で取り扱い、ここでは標準バンドル管と大格子管について概説する。

2.1.1 標準バンドル管および周辺大格子管仕様



拡大工事においては、Fig. 1 であきらかなように 5×5 、 5×3 (3×5) の標準バンドル管が追加新設される。また、格子管集合体の4隅には 5×3 、(3×5)、 3×3 相当の周辺大格子管が配置されており、核計装用のスペースとして使用される。

標準バンドル管および周辺大格子管の仕様寸法は、集合体組立時のアライメント^{*1}を従来どおりに保つため、 35×35 格子管集合体の標準バンドル管に準じて決められた。新規に製作する標準バンドル管および周辺大格子管の形状、寸法と個数を Table 1 に示す。また、その一部の概略図を Fig. 2, 3 に示す。

2.1.2 単格子管仕様および製作

新規に製作する標準バンドル管は既設 (35×35 格子管集合体) の標準バンドル管と組み合わせ使用することから、その材質、寸法については同一になることが要求される。したがって、新規の標準バンドル管製作に必要な単格子管についても、既設バンドル管に用いた単格子管に準じて仕様がつくられた。その仕様を Table 2 に示す。

既設バンドル管の単格子管はシームレス継目無引抜管であるが、新規の単格子管は溶接引抜管でつくられた。製法ははじめに帯鋼より自動 TIG 溶接により丸管を製造し、引抜を数回繰返して角管に成形する。溶接部については丸管の状態での渦流探傷、耐圧漏洩の各検査が行われた。製造工程を Table 3 に示す。

引抜角管は一般的にその断面形状が糸巻型 () かタイコ型 () のどちらかの傾向になるが、バンドル管用の単格子管としては、強度の面および周辺より拘束された時の変形が四角断面になることからタイコ型のほうが適しているといえる。既設の単格子管はタイコ型につくられている。

*1 (格子管の並びおよび配列の意)

2.1.3 単格子管検査および粒界腐蝕

製作された単格子管の検査は品質の化学分析と機械的性質、寸法、重量について行なった。化学分析では JIS 規格以外にボロン (B) と銅 (Cu) の化学分析を追加し、機械的性質は引張強さについて検査を行ったが、いずれも JIS の規格値内であった。単格子管の化学成分を Table 4 に示す。

寸法検査は外辺寸法、全長は全数について行い、その他の検査項目は 5% 抜取りで行った。検査結果はすべてグラフに整理された。その中からバンドル管製作に直接影響する外辺寸法の折線グラフを Fig. 4 に示す。この図で外辺寸法のピークが 2ヶ所あるのは、製作が 2回にわけて行われたためである。次に既設単格子管と新規単格子管の比較を Table 5 に示す。

製作された単格子管の外観検査で管の内側表面が肌荒れしているのがみつきり調査の結果、粒界腐蝕と判明した。発生の原因は角管引抜工程において脱脂不十分の部分が熱処理中に炭化して侵炭現象が生じ、酸洗中に粒界が若干腐蝕されたものである。粒界腐蝕部の写真を Fig. 5 に示す。

粒界腐蝕のいちじるしい管から引張試験片を採取して検査を行った結果では、腐蝕により実効断面積がマイナスになった分だけ拡張力は低くなったが、伸びは充分の大きさであった。FCA の使用状況を考慮すると多少粒界腐蝕のある材料であっても使用中に腐蝕がそれ以上進行することはありえないが慎重をきして肌荒れのいちじるしいものは使用しないことになった。

2.1.4 標準バンドル管の試作

標準バンドル管の製作は、既設バンドル管の製作法と同様の方法で行われた。5×5 バンドル管の場合は 25 本、5×3 (3×5) バンドル管の場合は 15 本の単格子管を締付治具で拘束し両端をスポット溶接、周辺を TIG 溶接してバンドル管に仕上げる。締付治具の構造を Fig. 6 に、溶接位置を Fig. 7 に示す。

標準バンドル管の試作は対辺寸法 55.255 mm、曲り 1.5/1000 mm の単格子管を用いて 5×5 バンドル管から行われた。寸法検査の結果、バンドル管対辺寸法は外周両端部近辺は、ほぼ仕様寸法 (276.0 ± 0.4 mm) に入っているが、各辺中央部はタイコ状にふくらみ、最大 0.8 mm ほど大きく、また 1 方向に最大 1.5 mm のネジレが生じていることがわかった。対辺寸法は締付治具で締付トルク 15 ~ 20 kg・m で拘束した状態では 276.2 ~ 276.4 mm の範囲にあるが、この状態で溶接したのち拘束を解くと外周が変形してしまうことがわかった。この点既設 5×5 バンドル管は締付トルク 5 kg・m で拘束し同様の溶接をしても対辺寸法が仕様範囲に入っていることから、両方について比較検討した結果、これはもとになる単格子管の違いによるものであると判断された。すなわち、Table 5 よりあきらかなように新単格子管は旧単格子管に比べ外辺寸法が 55.2 mm よりプラス側にできている。このためバンドル管にした場合の対辺寸法は仕様値をこえており、既設バンドル管の 3 ~ 4 倍の締付トルクで拘束することによって仕様寸法範囲におさめることができるが、それだけ拘束が解かれた時に働く逆方向の力も大きいといえる。また単格子管断面形状が系巻型にできていることも影響があるといえる。

試作 5×5 バンドル管の結果から、このままで 51×51 格子管集合体を使用することは格子管アラインメントの面で問題が出てくるおそれがあり不可能と判断され、その対策として次の 2 案

が提案された。

- i) 単格子管の組合せおよびバンドル管の溶接方法を変えることにより仕様範囲のバンドル管を製作する。
- ii) 単格子管の外辺寸法と曲りを再加工して仕様範囲のバンドル管を製作する。

この方針にもとずき、まず i), の方法より再試作を行うことになり、このため単格子管の寸法の再測定を行い外辺寸法が 55.25 mm に近いものと 55.12 mm に近いものにわけられた。いくつか行った試作の内容を Table 6 に示す。

試作の結果をまとめると次のようになった。

- a) 単格子管の再検査により、曲り精度は許容値 1.33 mm をこえたものがあることが確認された。曲りの修正は点状加熱で可能である。
- b) 5 × 5 バンドル管は外周が屋根型にふくらむ。これは既設 5 × 5 バンドル管にも同じ傾向が見うけられる。
- c) 5 × 5 バンドル管の外周の管は溶接後、各単格子管の断面形状がタイコ型となる傾向が見うけられる。
- d) 5 × 5 バンドル管は 55.25 mm と 55.12 mm の単格子管を組み合わせることにより、対辺寸法 276.0 ± 0.8 mm におさえられる。
- e) 5 × 5 バンドル管の対辺寸法の実測値は単格子管外辺寸法の倍数值 (単管外辺寸法 × 5 倍) より 0.35 mm ~ 0.425 mm プラスになる。その例を Table 7 に示す。

以上のまとめから、単格子管を加工しないかぎり仕様寸法 (276.0 ± 0.4 mm) に入る標準バンドル管の製作はできないことが確認されたので、次に ii) の単格子管の再加工を行うことになった。

2.1.5 単格子管の再加工

単格子管の外辺寸法をマイナスにする加工の方法としては、機械的に外周を削る方法と単格子管を再引抜する方法の 2 案が提案され、各方法について試削、検討が行われた。

機械的に外周を削る方法としては、機械切削加工、機械研削加工、手仕上がある。この中で切削加工は、単格子管の材料である SUS 27 材が一般に切込み量を或程度以上大きくしなければ加工硬化が著しいことから、単格子管の加工には適用できない。また手仕上は加工による外周の変形は他の方法に比べすくないが、加工に相当の時間を必要とし工程上の理由から採用することはできない。そこで残された研削加工が適用できないかを確かめるために、単格子管の一部を用いて試削してみたが、単格子管成形時 (引抜加工) の残留応力が部分的に解放されたために対辺寸法の変化および曲りを生じ、その変化量は単格子管の修正加工量 (片面 75 μ) に比較してオーダー的に相当大きく、また加工途中における局部的変形が均一ではないため、追込寸法のコントロールが難しいことなどから、研削加工による外周の加工も不可能であった。

次に再引抜による加工について検討を行ったが、単格子管は硬化が著しく、スプリングバックが大きいために寸法および形状の矯正は不可能である。

外周の機械的加工および引抜加工がいずれも不可能になり再度検討を行ない、最後の方法として腐蝕法による加工が提案された。一般に酸等によるケミカル処理の場合は次の点に注意しな

ればならない。

- a) 処理することにより溶接部の金属質がおかされないか。
- b) 処理によって強度が低下しないか、また応力集中している部分が荒れないか。
- c) 均一な厚さに削ることができるか。

以上を考慮したうえで、具体的なケミカル処理の方法として、不銹鋼のフォトエッチング法に用いられている手法を採用し、単格子管の一部を試験的に処理してみた。その結果、外辺寸法はほぼ均一にエッチングされるが、内部応力が解放されるためかネジレが大きくなった。耐力・引張強さ・伸び等の材料試験値はエッチング前とほぼ同じ値となった。

エッチングに使用した腐蝕液が金属結晶間や溶接部の切れ目に残ると腐蝕が進行することから、エッチング後の洗浄は十分に行われなければならない。この確認とエッチングの状態をみるために処理した単格子管の組織検査を行った。その写真を Fig. 8 に示す。

写真からあきらかなように母材はほぼ均一にエッチングされており、局所的なアタックはみられない。またエッチング後の酸洗も十分に行われていることがわかる。

これらの検査の結果から、単格子管の外周加工にフォトエッチング法が適当と判断され、これにもとづき約 1400 本の単格子管について片面 75 μ 、両面で 0.15 mm エッチングする加工が行われた。

単格子管の外周の加工と同時に単格子管の曲り修正が点状加熱法によって行われた。この方法は、単格子管コーナー部を小型ガス溶接バーナーで局部的に点状加熱し直ちに水冷して曲りをとる方法で、曲り 1.3 ~ 3.4 / 1300 mm の単格子管が修正後 0.5 以下 / 1300 になる。この修正は 1.33 / 1300 mm 以上の単格子管について行われた。

単格子管は最終的には A・B・C の 3 種類に分類される。A 種単格子管は、外辺寸法が 55.2 ~ 55.0 mm の範囲にあって特に加工をしなかったもので、中心バンドル管と実験孔を有するバンドル管の製作に使用され、B 種単格子管は、外辺寸法が 55.2 ~ 55.4 mm の範囲にあって、フォトエッチング加工、曲り加工をしたもので、5 × 5 および 5 × 3 バンドル管に使用された。C 種単格子管は、肌あれ部を仕上、フォトエッチング加工、曲り加工をしたもので 5 × 3 (3 × 5) バンドル管に使用された。エッチング前後の対辺寸法の変化を Fig. 9 に、また A・B・C 種単格子管引張試験の結果を Table 8 に示す。

2.1.6 標準バンドル管・大格子管の製作および検査

バンドル管の本製作に入る前に、加工した単格子管を用いて 5 × 5 バンドル管の試作が Table 9.10 の A の方法で行われた。その結果各辺中央部は 276.0 ± 0.4 の範囲に入ったが、外周面端部は仕様値より 0.1 mm マイナス (275.5 mm) になった。この寸法では、格子管集合体に組込んでもアラインメントに影響がないことから使用可能と判断し、すべてのバンドル管の製作を行うことを決定した。周辺大格子管については、製作上の問題はとくになかった。

製作された標準バンドル管の検査は工場検査と現地検査に分られる。工場検査では外観、寸法重量、性能の各検査を行った。外観検査でバンドル管のスポット溶接部の仕上がりが充分でないところがあり、その手直しが行われた。寸法検査は、全長、曲り、対辺距離、対角線寸法長さの許容寸法差、端面直角度、ねじれ、前端面平面度、について行った。その結果の一部を Fig. 10, 11 に

示す。またバンドル管重量検査結果のヒストグラムを Fig. 12 に示す。性能検査としては燃料引出しを模擬したダミー引出しの挿入引抜検査と実験孔用スリーブ管の挿入引抜検査が行われ、スムーズに挿入引抜ができないものについては手直しを行った。

現地検査としては格子管集合体組立後の無荷重状態でダミー引出しの挿入引抜を行い、スムーズに行えることを確認した。

周辺大格子管については、工場検査として外観、寸法、重量の各検査が行われた。

2.2 中心バンドル管

格子管集合体の拡大を機会に中心部構造を一部変更して、実験の精密化および多様化をはかることが検討された結果、次の3点について新設することが提案された。

i) 中心部 3×3 単格子管を除去可能にする。

i) は中心 5×5 バンドル管の中の 3×3 分をまとめて除去可能な構造に製作し、密着時に炉心中心部に空間をつくり「もんじゅ」の燃料または制御安全棒の実寸大模擬アッセンブリーを挿入して実際の燃料または制御棒アッセンブリー構造での反応度値の測定と詳細なフラックス・マッピングを可能にすることである。また、この空間は従来の格子管ピッチで制限されて炉心に挿入できない大型測定器の使用を可能にする。

ii) 中心軸上にドップラー用特殊チャンネルを新設する。

ii) は中心バンドル管の中心のみ単格子管を抜いた構造にし、標準寸法の炉心模擬板 (Pu 燃料含む) を使用する 51×51 格子管集合体用ドップラー引出しが駆動できるようにする。

iii) 中心径方向単格子管

iii) はパルス用延長管挿入用につくられた固定側格子管集合体の短格子管を抜いた空間を利用し、径方向より通常引出しが挿入できる単格子管を製作し、径方向反応率分布やスペクトル測定の実験の能率化をはかる。

以上の変更は、いずれも構造上中心部に関連していることから従来の 35×35 格子管集合体の中心バンドル管の加工では実現できないために、新しい中心バンドル管を製作することになった。

2.2.1 中心バンドル管の仕様の決定

中心バンドル管の構造としては、次の3つの案が提案された。

i) 中心バンドル管の全長にわたって中心 3×3 の単格子管を引抜可能な構造にする。

ii) 中心バンドル管の一部分を中心 3×3 の単格子管を引抜可能な構造にする。

iii) 中心バンドル管の一部分を中心 3×3 の単格子管を引抜可能な構造にし、さらに中心単格子管のない構造とする。

3×3 開口部を利用しての実験からは i) の構造が望ましいが、この中心バンドル管を 51×51 格子管集合体に組込み荷重を装荷した時の 3×3 開口部の変形が大きく、さらにこれに入る 3×3 バンドル管を製作することはむずかしいことから、ii) および iii) のいずれかを採用することになり、ドップラー用特殊チャンネルを含む iii) の構造で設計製作をすすめることに決定した。

つぎに中心バンドル管が実際に格子管集合体に組込まれ実験に使用される時の条件についてまとめを行った。

- 条件 a). 現有の標準寸法の燃料板を使用する通常引出しができる。
- b). 格子管集合体は 3×3 開口部を使用した特別な実験以外の通常の臨界実験時には通常の格子管と同じ性能である。
- c). 3×3 バンドル管の除去および再取付は荷重がある状態でも可能で、その作業は、FCAの人員だけで困難なく行え、かつ精度上の再現性がある。
- d). 3×3 バンドル管の除去に伴って残りの格子管集合体は変形を生じない。

以上の条件について整理を行い、つぎに中心バンドル管の設計仕様の検討に入った。

中心バンドル管は移動側および固定側格子管集合体の中心に位置し、 3×3 の開口部を有する 5×5 バンドル管と開口部に挿入される 3×3 バンドル管で構成される。通常の臨界実験では、 5×5 バンドル管に 3×3 バンドル管が挿入された一体状態で使用される。中心バンドル管には水平および垂直中心に実験用スリーブ管用の実験孔が設けられ、バンドル管中心部は新規ドップラー引出しができるよう単格子管がない構造となる。また固定側中心バンドル管には、パルス実験用延長管および径方向単格子管を挿入するための短格子管が設けられる。

中心バンドル管用の 5×5 バンドル管および 3×3 バンドル管の概略図をFig. 13に示す。また、格子管集合体に 5×5 バンドル管と 3×3 バンドル管を組込んだ時の中心軸の関係をFig. 14に示す。

5×5 バンドル管の外辺全長等の寸法は、標準 5×5 バンドル管と同じとし、 3×3 バンドル管の全長寸法は高速炉臨界実験装置の燃料(サイズはMax 50.8 mm)が9パック入る寸法で、これは「もんじゅ」の炉心長さに合わせて、手持ちの PuO_2/UO_2 ピン状燃料(Max 151.20 mm)が3本収まるサブアッセンブリーの寸法に決定した。

中心軸のズレは 5×5 バンドル管同志のずれは0.5 mm以内でこれは固定側・移動側 51×51 格子管集合体の中心軸のずれに相当し、 35×35 格子管集合体の場合と同様にとり、 5×5 バンドル管と 3×3 バンドル管の中心軸ずれを0.1 mm以内としたのは中心単格子管部をドップラー引出しが貫通するからである。この値は製作組立上きわめて厳しい値である。

2.2.2 中心バンドル管の試作

中心バンドル管用の 5×5 バンドル管および 3×3 バンドル管は特殊な形状・仕様が与えられ、かつ一体になった時には標準バンドル管と同じ仕様を満足しなければならないことが要求される。標準バンドル管の製作は、すでに 35×35 格子管集合体で経験しているが、中心バンドル管は、製作上種々の問題点を含んでいる。さらにこのような特殊な形状の中心バンドル管を格子管集合体に組込んで荷重を装荷した時のバンドル管の強度・たわみ等構造的な性能についてもはっきりしない部分が多々あることから、中心バンドル管の試作を行ない仕様を満足するようなバンドル管製作方法を確立するとともに、あわせて荷重試験を行って、その性能について確認することになった。

この方針にもとずき中心バンドル管構造製作検討書および試作計画書がつけられ試作を進めることになった。また設計面から中心バンドル管の構造・強度について検討が行われた。

中心バンドル管の試作は使用する単格子管の選択とバンドル管の溶接方法の確立に重点がおかれた。製作は始めに素材(単格子管)の選定基準を確認し、次に5×5バンドル管を試作し、その結果より3×3バンドル管の試作を行うことになった。5×5バンドル管の構造としては、素材の精度、溶接時の変形、変形の拘束可否および修正の可否等の要因により、溶接箇所が多く剛性が高い剛構造と溶接箇所が少なく剛性が低い柔構造が提案検討されたが、試作した中心バンドル管は、両構造とは違う構造となった。

溶接法は電子ビーム溶接とTIG溶接の両溶接について行った。試作の結果強度上は両溶接とも変わりはないが寸法精度は、バンドル管の場合真空容器の中で溶接しなければならない電子ビーム溶接に比べ、直接見ながら溶接作業の出来るTIG溶接の方が精度があがることから、中心バンドル管の製作にはTIG溶接を採用することになった。試作した5×5バンドル管の製作順序をTable 11に示す。

外寸寸法の小さいA種単格子管を使用した5×5バンドル管の試作が完了したところで、寸法検査および無荷重での性能検査が行われ、要求される精度の中心バンドル管が製作できることが確認された。ここで引続いて荷重試験を行いその性能について確認することになった。

2.2.3 中心バンドル管荷重試験(1)

中心バンドル管が格子管集合体に組込まれた状態では単体の時とは違って周囲のバンドル管から締付けられる。さらに、格子管集合体に荷重が装荷されるとその分だけ縦方向から押されることになる。5×5バンドル管に3×3バンドル管が挿入された1体状態では、単格子管のない中心部を除いては他の標準バンドル管と構造的には変わりがなく、締付け等の影響は少ないが、3×3バンドル管を引抜かなければならない状態では、締付けおよび荷重が、引抜力ならびに開口部寸法、その周囲の単格子管寸法に変化を与えることが予測される。このため5×5バンドル管の試作が終了したのち模擬荷重による荷重試験を工場で行った。

荷重試験の実施前に実際の中心バンドル管の使用性能および格子管集合体締付け力と格子管集合体に装荷される荷重について検討を行った。

i) 中心バンドル管の使用性能

- a) 中心バンドル管は通常の臨界実験では、5×5バンドル管に3×3バンドル管が挿入された一体構造で使用し、格子管集合体に荷重が装荷された状態でも炉心引出し、ドゥプラー引出し、実験孔スリーブ管の挿入がスムーズに行えること。
- b) 5×5バンドル管から3×3バンドル管の引抜挿入は格子管集合体に荷重が装荷されている状態で可能なこと。荷重は高速炉臨界実験装置の最大炉心荷重とする。
- c) 5×5バンドル管は3×3バンドル管が引抜けた状態においても炉心引出し、実験孔スリーブ管の挿入がスムーズに行えること、また開口部には模擬アッセンブリー等が挿入できること。但しアッセンブリー等の実験機器は枠付で挿入使用する。

ii) 格子管集合体の締付け力および荷重

格子管集合体の各バンドル管にかかる力は締付け力と荷重とに分けられる。ベット上に組立てられたバンドル管全体は、締付け金具によって縦方向および横方向から締付けられ固定される。締付け力は35×35格子管集合体の場合は1500 kg(2×100 kg-cm)~1950 kg(2×130 kg-cm)で

あった。51 × 51 格子管集合体の場合もほぼ同等の力で締付けることになる。つぎに格子管集合体に装荷される荷重は、炉心組成と寸法、ブランケットの有無によって異なるが炉心密度の大きい最小炉心とブランケットのある最大炉心が最大荷重になる。格子管集合体中心部に配置された中心バンドル管は無荷重の状態では横方向は、側面締付金具の締付力によって押され、縦方向からは上部締付金具の締付力と中心バンドル管より上の五段のバンドル管の自重によって押される。格子管集合体に荷重が装荷された状態では、横方向からの力是不変だが縦方向の力は中心バンドル管とその上の5段のバンドル管に装荷された荷重分だけ増加する。最小炉心および最大炉心の場合に中心バンドル管にかかる荷重を Table 12 に示す。

51 × 51 格子管集合体に組込まれた中心バンドル管は、1500 kg ~ 1950 kg の力で締付けられ縦方向より伝達される最大 2500 kg の荷重に耐えなければならない。具体的荷重試験は中心バンドル管の使用性能と締付力・荷重の関係から決定され、次の2つに分けて行われることになった。

- ① 荷重による中心バンドル管および標準バンドル管の寸法変化と性能試験。
- ② 締付力による中心バンドル管の寸法変化と性能試験および溶接法の検討

次に荷重試験①と②の内容および結果について述べる。くわしくは文献の試作中心バンドル管荷重試験結果にまとめられた。

①、荷重による試験は中心バンドル管およびその周辺の標準バンドル管に荷重がかかった時の開口部と外辺寸法の変化。性能試験として3 × 3バンドル管の挿入引抜性ならびに炉心引出し、ドップラー引出しの挿入引抜がスムーズにできるか調べるために行われた。5 × 5バンドル管の開口部寸法変化は3 × 3バンドル管の挿入引抜性と不可分の関係にあることからとくに綿密に試験検査が行われた。また、標準バンドル管の寸法変化を調べたのは、中心バンドル管との構造の違いによる比較と5 × 5バンドル管と接する直上の標準バンドル管の荷重による寸法変化が5 × 5バンドル管に伝達されるためである。試験荷重としては、鉄ブロックと鉛ブロックを装填した引出しが用意された。荷重のかけかたは格子管集合体に荷重が装填された場合に中心バンドル管および標準バンドル管にかかる荷重と中心バンドル管のみに荷重が装荷された場合とにわけられる。

① - i) 中心5 × 5, 3 × 3バンドル管組合わせ荷重試験。

この試験は格子管集合体に荷重が装荷された時の5 × 5バンドル管の開口部寸法の変化および3 × 3バンドル管の挿入引抜性ならびに炉心引出し、ドップラー引出しの挿入引抜が可能か確認するために行われた。本試験の試験状態を Fig. 15 に示す。最も変形の大きい開口部縦中心のE₂の寸法変化をA~Dの各点毎に荷重の増加と変位量をプロットしたものを Fig. 16 に示す。

Fig. 16 では 1300 kg の荷重でA点では約 0.7 mm 開口部がマイナスになることを示している。この荷重は最大荷重の約 1/2 である。3 × 3バンドル管の挿入引抜は 900 kg では可能で1300 kg では引抜はできるが挿入は不可能である。したがって3 × 3バンドル管の挿入引抜は 900 kg が限界と判断する。この時の引抜力は 40 kg である。またドップラー引出し、炉心引出しの挿入引抜とも可能である。

① - ii) 中心5 × 5バンドル管荷重試験

この試験は中心5 × 5バンドル管の開口部上辺の単格子管の荷重が開口部寸法変化にどの程度寄与しているかを確認するために行なわれた。本試験の試験状態を Fig. 15 に示す。開口部縦/横

中心の $E_2 \cdot F_2$ の寸法変化についてA～Dの各点毎に荷重と変位の関係をプロットしたものを、Fig. 17 に示す。

Fig. 17 より前述した最小炉心で密度の最も大きい炉心引出しを挿入した時に E_2 は 0.2～0.25 mm 寸法がマイナスになり、横方向 F_2 はほとんど変わらない。この結果から荷重による開口部上辺単格子管の内面への変形（開口部寸法をマイナスにする方向）を少なくするため、バンドル管開口部の内面溶接の必要性が検討された。

①-III) 中心5×5バンドル管耐荷重試験

この試験は格子管集合体に最大荷重を装荷したときの中心5×5バンドル管開口部寸法変化と中心バンドル管およびその上部のバンドル管に装荷した引出しの挿入引抜動作を確認するために行われた。本試験の試験状態を Fig. 15 に示す。開口部縦中心の E_2 寸法をA～Dの各点毎に荷重の増減と変位量をプロットしたものを Fig. 18 に示す。

Fig. 18 では、2600 kg の最大荷重でA点の E_2 寸法は 1.0 mm 近くマイナスになりD点においても 0.6 mm マイナスになるが開口部断面形状は大きく変形せず、この程度の荷重には充分耐えることが確認された。また引出しの挿入引抜およびドップラー引出しの挿入引抜も可能で、単格子管断面の変形は小さいといえる。

①-IV) 標準5×5バンドル管荷重試験

この試験は、標準バンドル管の荷重印加時の外辺部単格子管の変位量を測定し、その結果より中心バンドル管直上の標準バンドル管より伝達される荷重の大きさを確認するために行なわれた。本試験の試験状態を Fig. 15 に示す。上辺下辺中央部単格子管の荷重と変位量の関係をプロットしたものを Fig. 19 に示す。

Fig. 19 より中心5×5バンドル管に直接あたる部分に相当する H_5 の変位量は 1300 kg で、0.77 mm である。この値は先に行われた i). 中心5×5・3×3バンドル管組合せ荷重試験結果の 1300 kg 荷重における開口部寸法変化 0.7 mm に近い値である。

以上の i). ～iv) の荷重試験の結果をまとめると、中心5×5バンドル管は 2600 kg の荷重には充分に耐える*。またその開口部寸法の変化は直上の標準バンドル管の変位量によってきまることが確認された。さらに中心3×3バンドル管の挿入引抜は 900 kg までは可能である。炉心引出しおよびドップラー引出しの挿入引抜は最大荷重時でも可能である。次に②の締付力による荷重試験の結果について述べる。

②. 締付力による試験は 51×51 格子管集合体を組上げるため、格子管集合体全体を縦/横方向の締付金具で、締付けた場合の中心5×5バンドル管開口部寸法の変位量を調べ中心3×3バンドル管の挿入引抜動作に必要な外辺寸法(限界値)および製作可否の検討を行うものである。また、この試験では中心5×5バンドル管開口部変位について溶接個所の違いによる影響を調査するため、電子ビーム溶接によって製作された中心5×5バンドル管(中心バンドル管の第1回試作品)についても行うことになった。試験の方法は定盤上に中心5×5バンドル管を置いて横方向から締付け縦方向には荷重をのせた場合と、標準バンドル管製作に使用した溶接治具を用いて縦/横方向から締付けた場合の2方法で行った。

* バンドル管のたわみは弾性限界内で、荷重の増減状態でヒステリシスがない。

②- i) 中心5×5バンドル管縦／横荷重試験

この試験は格子管集合体に組立てられた中心5×5バンドル管が縦／横方向から締付けられた場合の開口部寸法の変位量および溶接個所の違いによる影響を確認するために行なわれた。本試験の試験状態を Fig. 20 に示す。開口部縦／横中心の $E_2 \cdot F_2$ 寸法のA点における変位量を中心5×5バンドル管(TIG溶接)と電子ビーム溶接中心5×5バンドル管についてプロットしたものを Fig. 21 に示す。また中心5×5バンドル管のA～Dの開口部寸法変化と開口部仕様寸法(165.60 mm)の関係を Fig. 22 に示す。

Fig. 21 では 1500 kg～1950 kg (35×35 格子管集合体締付トルク)の荷重で締付けた場合には中心バンドル管の横寸法は 0.8 mm～0.85 mm, 縦寸法は 1.4 mm～1.5 mm 開口部がマイナスになる。電子ビーム溶接バンドル管は, 横寸法は中心バンドル管と同じであるが, 縦寸法は, 1.0 mm 程度の変位量で溶接による違いがみられる。

Fig. 22 では縦／横荷重がゼロの時の中心バンドル管の開口部寸法はA点では仕様寸法(165.60 mm)を越えているが, B～D点では仕様寸法にほぼ近い値となっている。これは中心バンドル管の開口部がラップ型になっていることを示している。縦／横から荷重(締付力)をかけると, 開口部寸法はA～Dの各点において仕様寸法より小さくなり, 変位量としてはA点が最も大きい, 開口部寸法としてはB点が最も小さく, 開口部断面形状は全体に糸巻型(⊗)となった*。これらより格子管集合体に組込まれた中心5×5バンドル管は燃料装荷されない無荷重状態においてすでに開口部寸法が仕様寸法より相当マイナスになることを示すものである。

荷重および締付力による試験を総合して検討した結果, 試作された中心バンドル管は, 5×5バンドル管と3×3バンドル管が一体となった構造では格子管集合体に組み込み使用できるが, 締付け荷重によって開口部寸法がマイナスになることから, 3×3バンドル管の引抜きは不可能であるという結論になり, 前述の中心バンドル管使用性能(b)を満足しないことがはっきりした。

2.2.4 中心バンドル管荷重試験(2)

中心5×5バンドル管は, 他の標準バンドル管と同様に外辺寸法は中央部が大きく両端部が小さいタイコ型にできている。このような形状でさらに中心部に3×3の開口部を有する。格子管集合体に組込まれた中心5×5バンドル管は周囲のバンドル管から締付金具の荷重を伝達されるが, タイコ型にふくらんだ外辺中央部が最も力を受けるため3×3バンドル管が挿入された開口部各辺は, 単格子管毎に変形して, タイコ型であった開口部断面が糸巻き型にかわるとともに寸法はマイナスになり, 3×3バンドル管は引抜きができなくなる。これを解決する方法として次の4つの案が提案された。

- i) 中心5×5バンドル管断面形状を正四角につくり, さらに溶接個所をふやし(開口部内面溶接)変形をすくなくする。
- ii) 周囲の標準バンドル管と接する中心5×5バンドル管の外辺両端部にライナーをかませ, 外辺中央部にかかる力をすくなくする。
- iii) 締付金具による締付力をゆるめ中心5×5バンドル管に伝達される荷重をすくなくする。
- iv) 開口部寸法のマイナスにあわせて外辺寸法の小さめな3×3バンドル管をつくる。

* 荷重は最初の 750 kg ですべての変位がおこり, さらに荷重が増加しても開口部は大きく変化しない。

次に4案について検討が行われた。i) の正四角に近いバンドル管を製作することは試作の経過からみても容易ではなく、溶接個所をふやすことは、強度は増しても形状・寸法・精度の面でマイナスである。iii) の締付力をゆるめることは、格子管集合体のアラインメントに影響があり、格子管集合体の耐震性にも関係することから採用することはできない。また、iv) の外辺寸法の小さい3×3バンドル管は中心軸のズレが大きくなりドップラー引出し、炉心引出しの挿入引拔ができないおそれがあるといえる。その点 ii) の案は特殊な構造と寸法関係にある格子管集合体中心部にライナーを入れるためあまり望ましくはないが、他の案に比べ実現の可能性があることから、試験を行ないその効果を調べることになった。

① 中心5×5バンドル管ライナー挿入試験

この試験は中心バンドル管の外辺両端部にライナーを挿入して締付けた場合に開口部寸法および外辺寸法がどのように変位するか、3×3バンドル管の挿入引拔が可能かを確認するために行われた。試験は締付力荷重試験で使用した溶接治具を使用して、1 mm・0.5 mm・0.2 mmの3種のライナーについて行った。本試験の試験状態をFig. 20 - 2に示す。縦／横荷重1950 kgにおけるライナー効果について開口部寸法の変位量をA～Dの各断面毎に図示したものをFig. 23に示す。また、0.5と0.2 mmライナー挿入時の外辺寸法(仕様寸法276.0 mm)の変位をFig. 24, 25に示す。

Fig. 23よりあきらかなように4隅にライナーを挿入した結果、開口部寸法の変位はライナーがない場合に比べすくなくなくなっている。開口部断面形状は、1～0.5 mmライナーの場合はタイコ型のままであるが、0.2 mmライナーでは一部が糸巻き型になる。外辺寸法の変位は0.5 mmと0.2 mmのみ測定したが、1950 kgの締付け荷重に対しては0.2 mmライナーでは薄い。

3×3バンドル管の挿入引拔は1～0.5 mmライナーでは1950 kgの締付け荷重で45～50 kgで挿入引拔ができるが、0.2 mmライナーでは1200 kgが限界である。

この試験の結果から、ライナーを挿入することによって中心バンドル管を格子管集合体に組込み、3×3バンドル管を挿入引拔できる可能性がひらけた。ライナーとしては厚いほど開口部寸法の変位量はすくなく効果があるが、バンドル管同志のアラインメントの面では薄いほうがよいといえる。試験の結果からみれば0.5 mm前後のライナーが適当といえるが、これは溶接治具による結果であって、実際の格子管集合体の場合は中心バンドル管が接する周囲のバンドル管もタイコ型にできており、また締付力も変わってくることから、この試験の結果をそのまま最終結論とすることはできない。ここで一連の工場における荷重試験を終了し、格子管集合体に組込まれた中心バンドル管のライナー効果については、51×51格子管集合体組立の中で行うことになった。この詳細については次章で述べる。

2.3 35×35 格子管集合体

51×51に格子管集合体を拡大するために既設の35×35格子管集合体を解体することになるが、その前に格子管集合体の状態、固定側・移動側テーブルの状態、テーブル駆動機構の性能について現状を確認することになった。

この確認検査の目的は次の通りである。

- i) 51 × 51 格子管集合体の組立ては 35 × 35 格子管集合体の組立調整方法に準じて行われることから、35 × 35 格子管集合体据付時データと長期間使用後の解体前現在状態データの比較検討を行い 51 × 51 格子管集合体組立調整に反映させる。
- ii) 51 × 51 格子管集合体組立ての基準面となる固定側・移動側テーブルの寸法精度の経年変化を検査し、組立前に調整する必要があるか判定する。
- iii) 今回の拡大工事範囲外のテーブル駆動機構について性能確認を行い、35 × 35 格子管集合体据付時性能との比較および 51 × 51 に拡大された時の影響を調べる。

検査は VI - 3 炉心の実験が終了し、すべての炉心物質が格子管集合体から装脱された無荷重状態で行われた。35 × 35 格子管集合体については外辺寸法、端面の平行度および平面度、中心軸のズレの寸法検査を行い、テーブル精度検査は密着面の平行度、密着時における両テーブル中心の水平方向のズレ、密着時における両テーブル鉛直方向のズレについて検査を行った。またテーブル駆動機構は移動テーブルの停止位置、走行時間、加速性能、停止性能、惰走性能について確認した。検査は 35 × 35 格子管集合体据付時と同じ検査方法で行われた。次に検査の結果について述べる。

2.3.1 35 × 35 格子管集合体寸法検査

Fig. 26 は外辺寸法、Fig. 27 は端面の平面度を示す。検査の結果外辺寸法は据付時に比べ縦方向寸法はほぼ同寸法であるが、横方向寸法は変化している。その変化の方向は密着面と反密着面は符号が逆であり、変化量は B・C のほうが A・D より大きい。その原因についてははっきりしないが、据付後の格子管荷重の装荷装脱により横方向のアライメントが変わったと推察される。

端面の平面度は仕様では最大と最小の差は 0.1 mm 以内となっているがすでに据付時にその値を越えている。(固定側 0.16 mm・移動側 0.13 mm) 今回の測定では固定側密着面については、平面度の最大と最小の差は 0.25 mm と大きくなった。また移動側密着面は全体が据付時より前方向にせりだし、平面度の最大と最小の差は 0.25 mm となったが、実際の格子管密着面の状態、格子管集合体構造および締付法、据付より解体迄の装荷された炉心の荷重分布からみて図のような平行移動的バンドル管のずれは起りがたい。

テーブル密着面より格子管密着面までの寸法 A は Fig. 27 の式でもとめられる。この式で C・D については測定誤差は 2/100 mm 程度であるが、B の値はデップスマイクロで測定するためマイクロあたり面の状態によって測定値が変わり、A の値も変化することからこの変化量は B の値すなわち測定法によるものとみるべきで、格子管集合体端面平面度、平行度は据付時とかわっていないと判断した。

51 × 51 格子管集合体組立時の検査では前述の点を考慮し平行度の測定は別な方法でも行うことになった。

中心軸のずれは固定側・移動側の密着面のみ測定した。その結果、水平方向の中心軸は固定側・移動側ともプラス方向(格子管集合体の寸法上の中心)に変化しており、外辺の横方向寸法がひろがる傾向と一致する。垂直方向の中心軸は固定側・移動側ともほぼ据付時とかわらず、またバンドル管単体のネジレが部分的であるがすくなくなった。これは組立調整時にのこったネジレが格子管集合体に荷重を装荷したことにより矯正されたものといえる。Fig. 28 に中心軸の測定

結果を示す。

以上の寸法検査を総合的に検討した結果、 35×35 格子管集合体は長期間の使用により横方向の寸法変化はあったが前後の変化はみられず、バンドル管のネジレは減少し全体のアライメントは大きく変化しなかった。

この結論から 51×51 格子管集合体の組立調整は 35×35 格子管集合体組立法に準じて行ってよいと判断した。

2.3.2 テーブル精度検査

固定側・移動側テーブルの水平および鉛直方向のずれは据付時よりも大きくなり、仕様値の 0.05 mm をわずかにこえている。原因としては、移動側テーブルのローラーベアリングの摩耗・ウォームギアの摩耗、蛇行防止装置のゆるみ等があげられるが、その交換調整は技術的には可能でも日程の面で改造工事期間中に行うことはむずかしく、またこの程度のずれならば 51×51 格子管集合体組立に影響はないことから、とくに調整を行わないことにきめた。

テーブルの平行度の結果を Fig. 29 に示す。 $100 \text{ mm} \cdot 50 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}$ の各位置で測定を行ないまた再現性を確認した。各測定点の最大と最小の寸法差は 0.02 mm より大きな値となり再現性も 100 mm 以外は 0.02 mm 以内の仕様を満足せず、また左右の平行度もわるくなり、全般的に据付時に比べ精度がわるくなった。この原因はテーブル水平および垂直方向のずれが大きくなったことと同一であるためにとくに対策はとらなかったが特性試験に影響してくる 10 mm 附近の再現性と臨界量に直接関係する密着時の平行度については 35×35 格子管集合体解体後のテーブル単体検査で再度検査を行うことになった。

2.3.3 テーブル駆動機構の性能確認

駆動機構の各性能測定値は据付時とほとんどかわらず、据付から解体までの間にとられた点検・調整・部品交換等の定期保守が十分であったことが確認された。

Table 1 51 × 51 格子管集合体用新設バンドル管・大格子管

バンドル管名称	形	数量	寸法			(単位mm)	
			対辺寸法	全長	対角線寸法差 許容寸法差	基準面に対する平面度	
標準A-1バンドル管	5行 x 5列	56	276.0 ± 0.4	1324.0 ⁺² ₀	0.8 以内	0.05 以内	
A-2バンドル管	5行 x 5列 (移動側水平実験孔用)	2	276.0 ± 0.4	1324.0 ⁺² ₀	0.8 以内	0.05 以内	
A-2'バンドル管	5行 x 5列 (固定側水平実験孔用)	2	276.0 ± 0.4	1273.2 ⁺² ₀ 1324.0 ⁺² ₀	0.8 以内	0.05 以内	
A-3バンドル管	5行 x 5列 (固定側移動側垂直実験孔用)	4	276.0 ± 0.4	1324.0 ⁺² ₀	0.8 以内	0.05 以内	
標準B-1バンドル管	3行 x 5列に配列 5行 x 3列	3行 x 5列 24 5行 x 3列 24	276.0 x 165.6 ^{±0.4}	1324.0 ⁺² ₀	0.5 以内	0.05 以内	
B-2バンドル管	5行 x 3列 (移動側水平実験孔用)	2	276.0 x 165.6 ^{±0.4}	1324.0 ⁺² ₀	0.5 以内	0.05 以内	
B-2'バンドル管	5行 x 3列 (固定側水平実験孔用)	2	276.0 x 165.6 ^{±0.4}	1324.0 ⁺² ₀ 1273.2 ⁺² ₀	0.5 以内	0.05 以内	
B-3バンドル管	3行 x 5列 (移動側固定側垂直実験孔用)	4	276.0 x 165.6 ^{±0.4}	1324.0 ⁺² ₀	0.5 以内	0.05 以内	
周辺大格子管(1)	3行 x 5列 相当 5行 x 3列	3行 x 5列 8 5行 x 3列 8	276.0 x 165.6 ^{±0.2}	1324.0 ⁺² ₀	0.5 以内		
周辺大格子管(2)	3行 x 3列 相当	8	165.6 x 165.6 ^{±0.2}	1324.0 ⁺² ₀	0.4 以内		
パリス中性子発生装置 用短格子管	A-2' B-2' バンドル管の延長管 挿入部に使われる。	20	55.2 ± 0.2	50.8 ± 0.1			

Table 3 单格子管製造工程

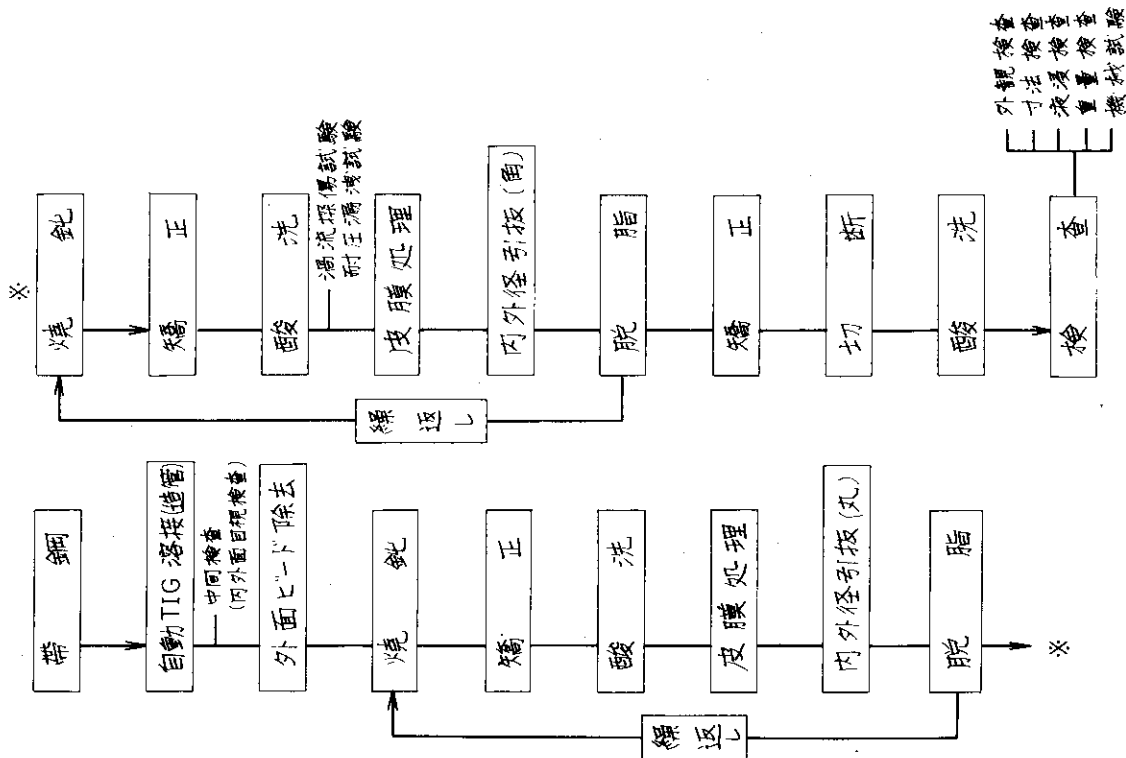


Table 2 单格子管仕様

材		SUS 304 TB 溶接引抜角管	
寸法	質	55.2 ± 0.2 x 55.2 ± 0.2	(単位 mm)
外 径	材	1324.0 +0.6	
全 長	厚	1.0 ± 0.05	最少厚 ± 0.9
内 径	R	0.7 R 以下	
対角距離偏差	度	$ L_1 - L_2 \leq 0.5$ (最大値) $ L_1 - L_2 \leq 0.3$ (目標)	
真 直 度	度	1/1000 以下目標	
軸方向サジレ	度	30 分以内 (線間 0.5)	
重量のバラツキ	率	出素上りの平均値に対して ± 3% 以内	
材料強度	引張強さ	65 Kg/cm ² 以上	
	降伏強(耐カ)	35 Kg/cm ² 以上 (参考値)	

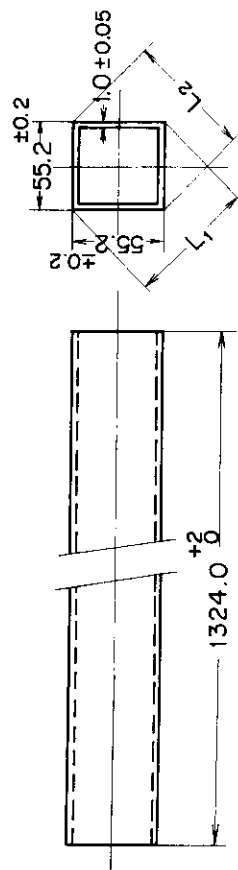


Table 4 单格子管化学分析値

Heat NO.	Chemical Composition (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
	Max	Max	Max	Max	Max				
3N0410	0.05	0.65	0.90	0.025	0.014	8.58	18.64		0.07
3N0403	0.06	0.73	1.01	0.025	0.010	8.89	18.61		0.10

Boron { 3N0410 0.0003 %
3N0403 0.0004 %

Table 5 单格子管比較表

	新单格子管	旧单格子管※1
外辺寸法(平均)	55.26 mm	55.17 mm
曲り(最大)	$\frac{1.5}{1000}$ mm	$\frac{2}{1000}$ mm
角 R	鋭角	鈍角
断面形状	糸巻き型	タイド型

※1) 35x35 格子管集合体に使用したもの

標準バンドル管試作内容

Table 6

	使用単格子管外径寸法	使用単格子管曲り	単格子管の締付および溶接方法	試作結果
①	平均値55.25mmに近いものを25本使用	曲りの修正は行わない	25本の単格子管を一度に治具に締付け溶接。締付は5×5の対辺寸法が276.0±0.4に入る様に均一に行なった。溶接は端面のスポット溶接を先にを行い、続いて外周のTIG溶接を行なった。	断面の端部は276±0.4を満足しているが断面中央部は276±0.4をこなしている
②	同上	同上	① 溶接にさらに両端面の単格子管の文箱の部分にTIG溶接を追加し、また外周のTIG溶接を追加した。追加溶接はバンドル管を再度締付治具に締付けた状態で行なった	長手方向の両端および断面の端部は276±0.4を満足しているが長手方向の中央部は276±0.4をこなしている
③	同上	同上	9本の単格子管でバンドル管中央の3×3を一旦先に組み端面のスポット溶接、外周のTIG溶接を行なった後に外周に単格子管を配置し5×5バンドル管とした。締付及び溶接は①と同じ	結果は①と同じ
④	同上	昇温加熱により0.5/1000mm以下に曲りを修正する	25本の単格子管の締付および溶接は①と同じ	結果は①と同じ
⑤	平均値55.25mmに近いもの12本55.12mmに近いもの13本を使用	同上	25本の単格子管の締付および溶接は①と同じ。但し締付は5×5の対辺寸法が276.0±0.2に入る様に均一に順次行なった	結果は①と同じ

Table 7 単格子管外辺寸法と5×5バンドル管対辺寸法の関連

(単位 mm)

単格子管外辺寸法(A) ※1	外辺寸法(基準) との差 ※2	5×5 バンドル管対辺寸法		対辺寸法の差 (実測値-A)×5
		(A) × 5 倍	実測値	
55.31	+ 0.11	276.55	276.90	0.35
55.255	+ 0.055	276.275	276.70	0.425

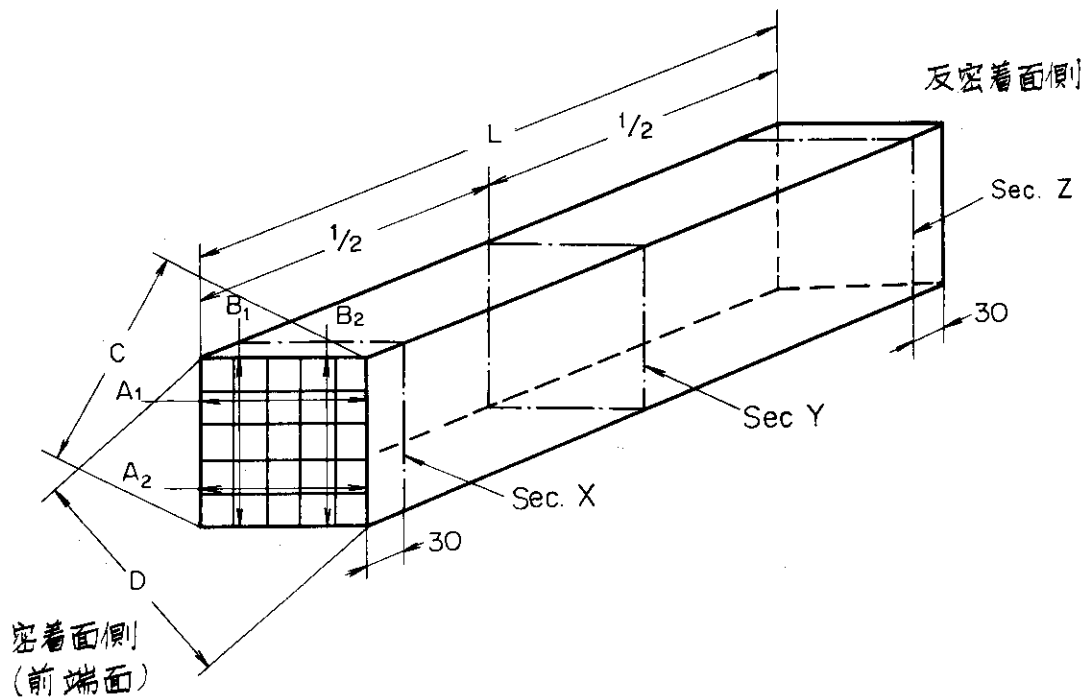
※ 1 この外辺寸法はメーカーでの再測定値である

※ 2 単格子管外辺寸法(基準値) 55.20

Table 8 各種単格子管引張試験

	引 張 試 験						
	厚さ×巾	標尺距離	降伏荷重	耐力	最大荷重	引張強さ	伸び
A種単格子管	1.01 x 25.0 mm	50 mm	1,410 Kg	55.8 Kg/mm ²	1,850 Kg	73.3 Kg/mm ²	42.0 %
B種単格子管	0.96 x 25.0	50	1,330	55.4	1,740	72.5	44.1
C種単格子管	1.00 x 25.1	50	1,410	56.2	1,800	71.7	40.3
C種単格子管 (溶接部含む)	1.02 x 25.1	50	1,540	60.2	1,880	73.4	37.1

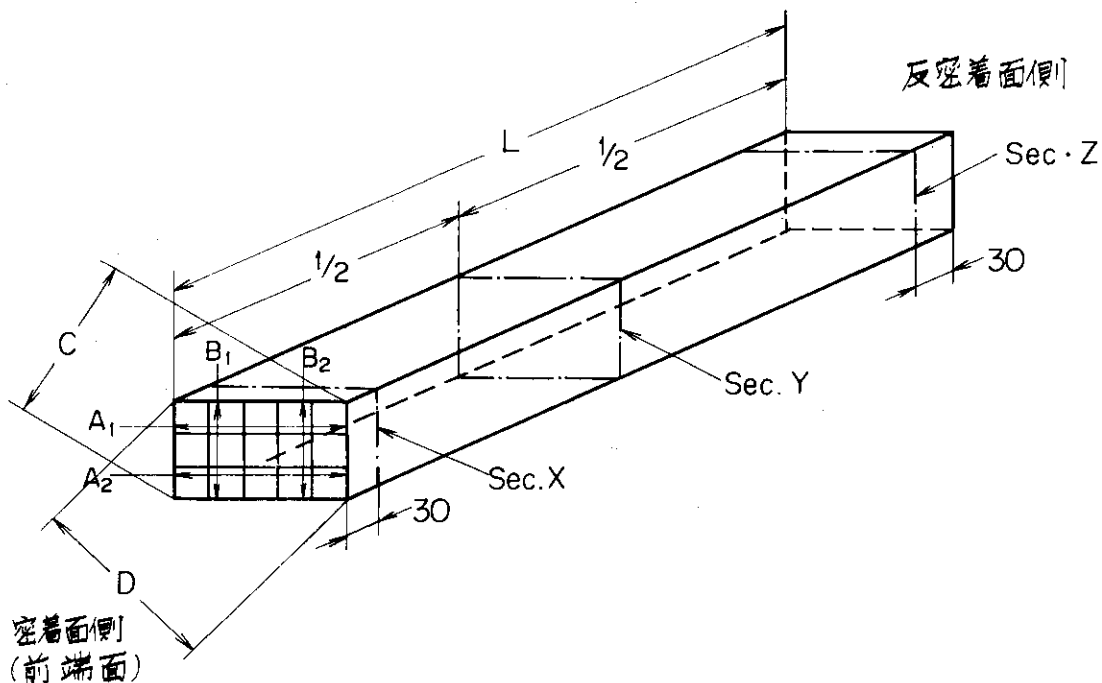
Table 9 A タイプバンドル管検査結果



(単位 mm)

A1バンドル管 NO.21-31								重量
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	D	L	
Sec. X	275.70	276.00	275.98	275.62	389.46	389.48	1324.0	54.1Kg
Y	275.84	275.82	275.70	275.84	/	/		
Z	275.66	275.76	276.00	276.26	389.36	389.28		
A2バンドル管 NO.22-1								重量
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	D	L	
Sec. X	275.91	275.84	275.90	275.86	389.30	389.58	1324.0	55.6Kg
Y	276.13	275.90	275.98	276.13	/	/		
Z	276.00	275.83	275.88	276.09	389.56	389.24		
A3バンドル管 NO.23-1								重量
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	D	L	
Sec. X	275.96	275.97	275.96	275.94	389.56	389.56	1324.5	55.8Kg
Y	276.13	276.27	276.30	276.28				
Z	276.01	276.00	275.97	276.00	389.42	389.70		

Table 10 B タイプバンドル管検査結果



B1 バンドル管 NO.41-1

(単位mm)

	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	D	L	重量
Sec. X	275.75	276.00	165.66	165.89	320.70	321.10	1324.0	31.9Kg
Y	276.03	275.94	165.81	165.70				
Z	276.15	275.89	165.70	165.63	320.74	321.18		

B2 バンドル管 NO.42-1

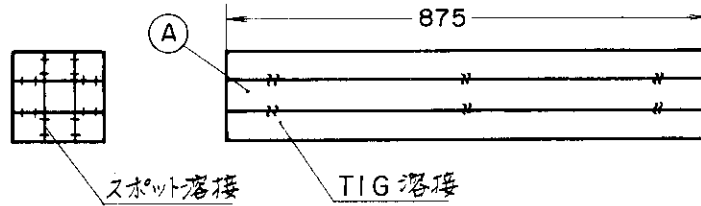
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	D	L	重量
Sec. X	275.91	275.83	165.69	165.58	321.00	320.94	1324.0	33.8Kg
Y	275.89	275.84	165.60	165.61				
Z	275.81	276.02	165.53	165.56	321.04	320.88		

B3 バンドル管 NO.43-1

	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C	D	L	重量
Sec. X	275.94	275.86	165.43	165.50	321.22	321.14	1324.0	33.5Kg
Y	276.04	275.90	165.81	165.73				
Z	275.85	275.85	165.64	165.64	321.14	321.02		

Table 11 試作中心 5 × 5 バンドル管製作順序

- ① L = 875 mm の単格子管 9 本を使用しスポットおよびTIG 溶接で 3 × 3 中心部を製作する。



- ② ①で製作した 3 × 3 中心部 A の周囲に L = 1324 mm の単格子管を組みつけバンドルしてスポットおよびTIG 溶接を行なうこの時 3 × 3 開口部には治具を入れる

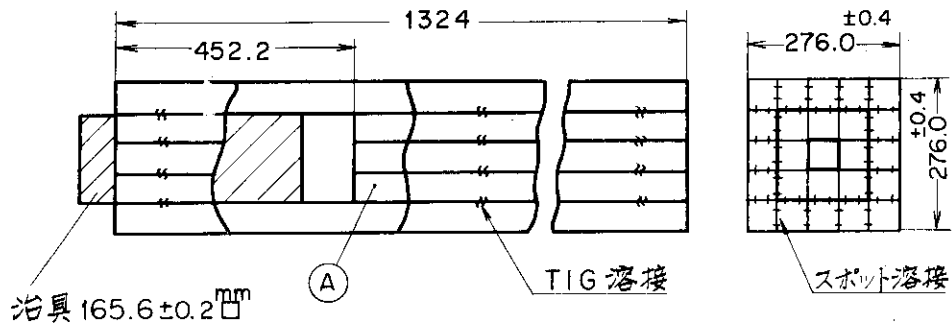


Table 12 最小および最大炉心時の中心バンドル管にかかる荷重

最小炉心



中心バンドル管

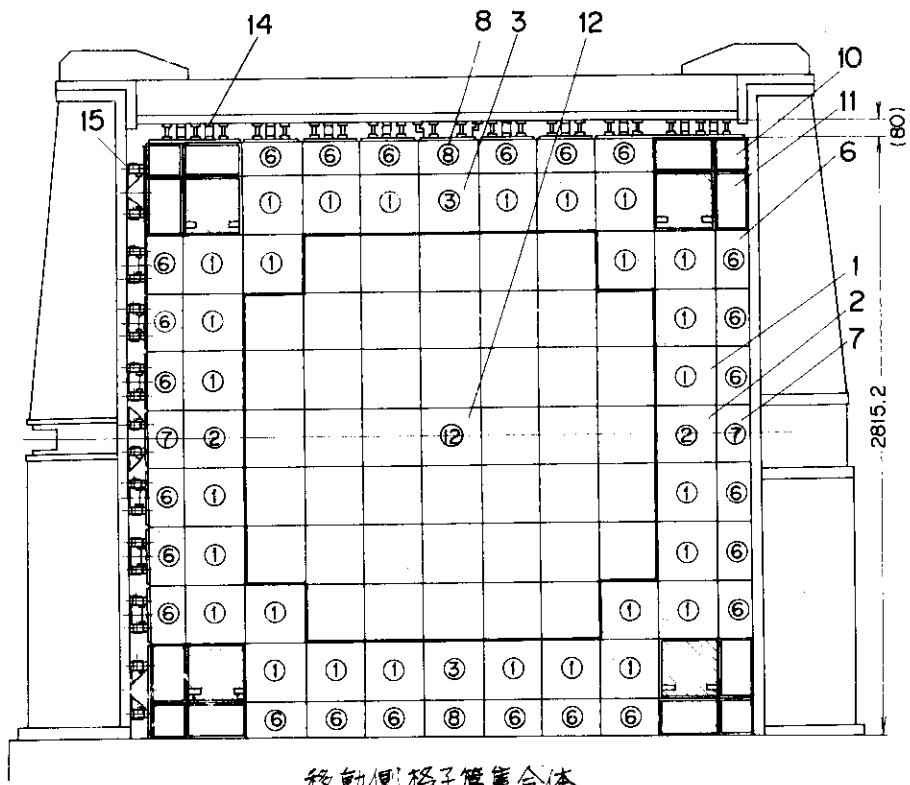
炉心引出し重量 32.5Kg/1本
 中心バンドル管にかかる重量 (W)
 $32.5\text{Kg} \times 75 \text{本} = \underline{2437 \text{Kg}}$

最大炉心

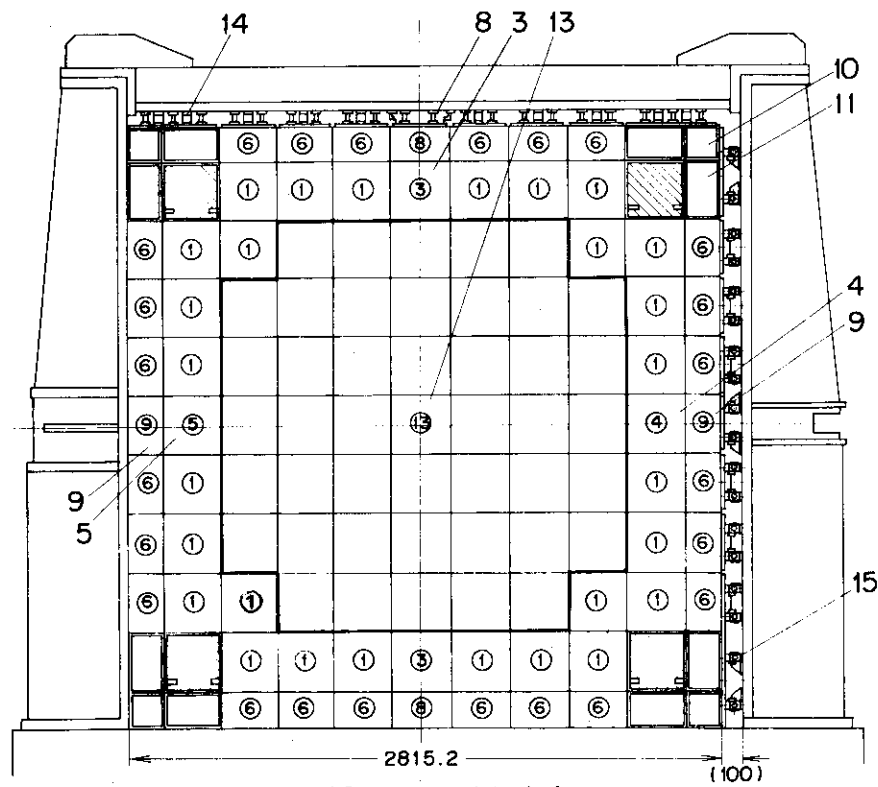


中心バンドル管

ブラケット引出し重量 32.5Kg/1本
 ブラケット部重量
 $32.5\text{Kg} \times 40 \text{本} = \underline{1300 \text{Kg}}$
 炉心引出し重量 17Kg/1本
 炉心部重量
 $17.0\text{Kg} \times 75 \text{本} = \underline{1275 \text{Kg}}$
 中心バンドル管にかかる重量 (W)
 $1300 + 275 = \underline{2575 \text{Kg}}$



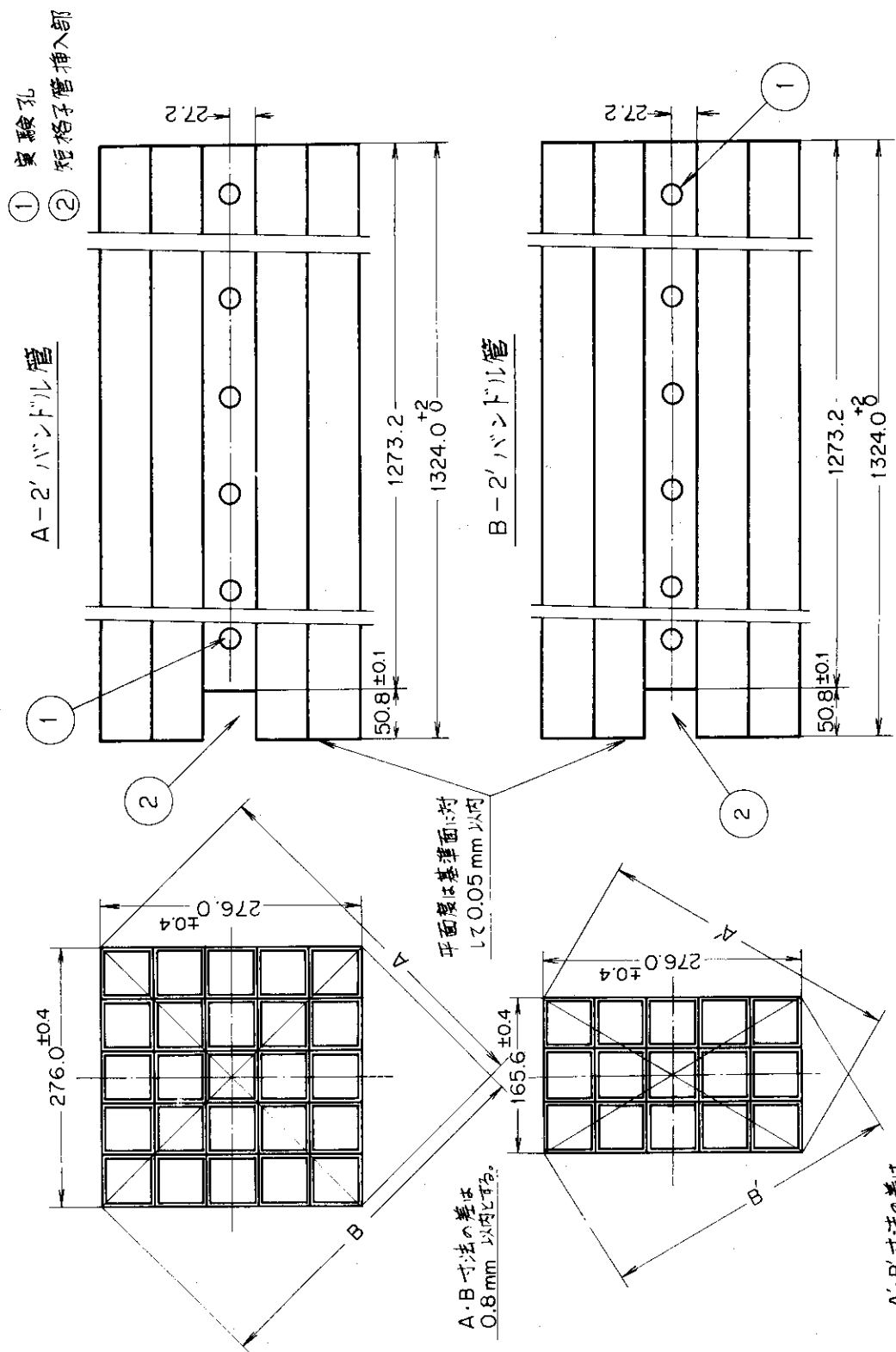
移動側格子管集合体



固定側格子管集合体

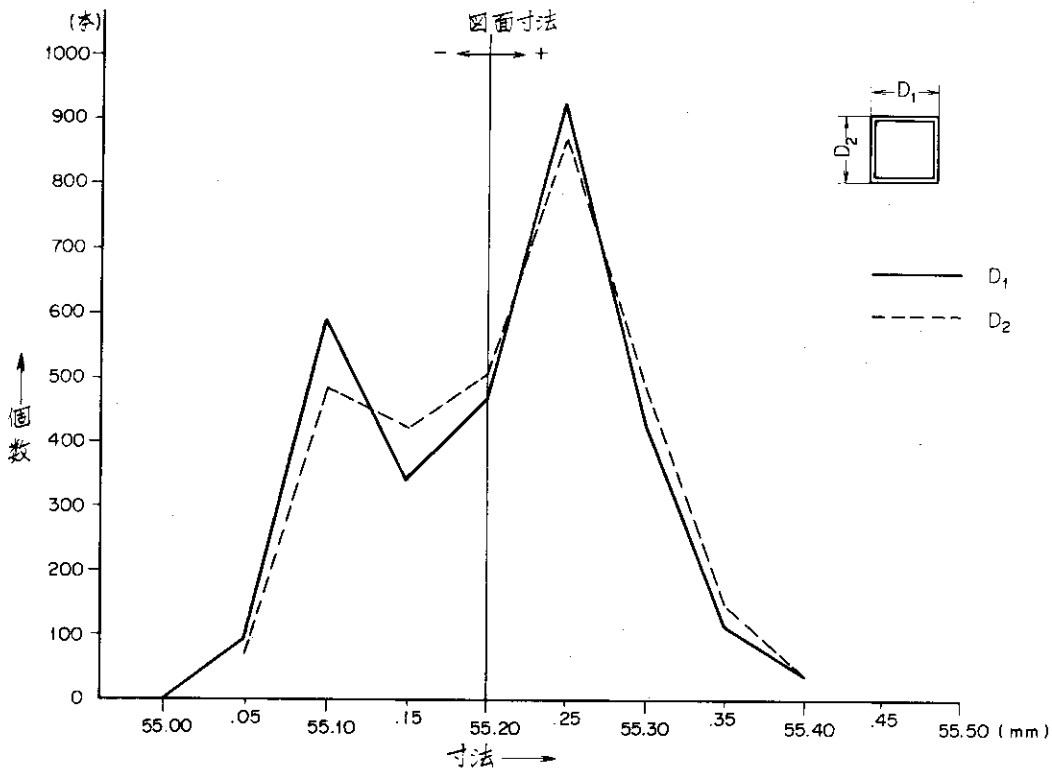
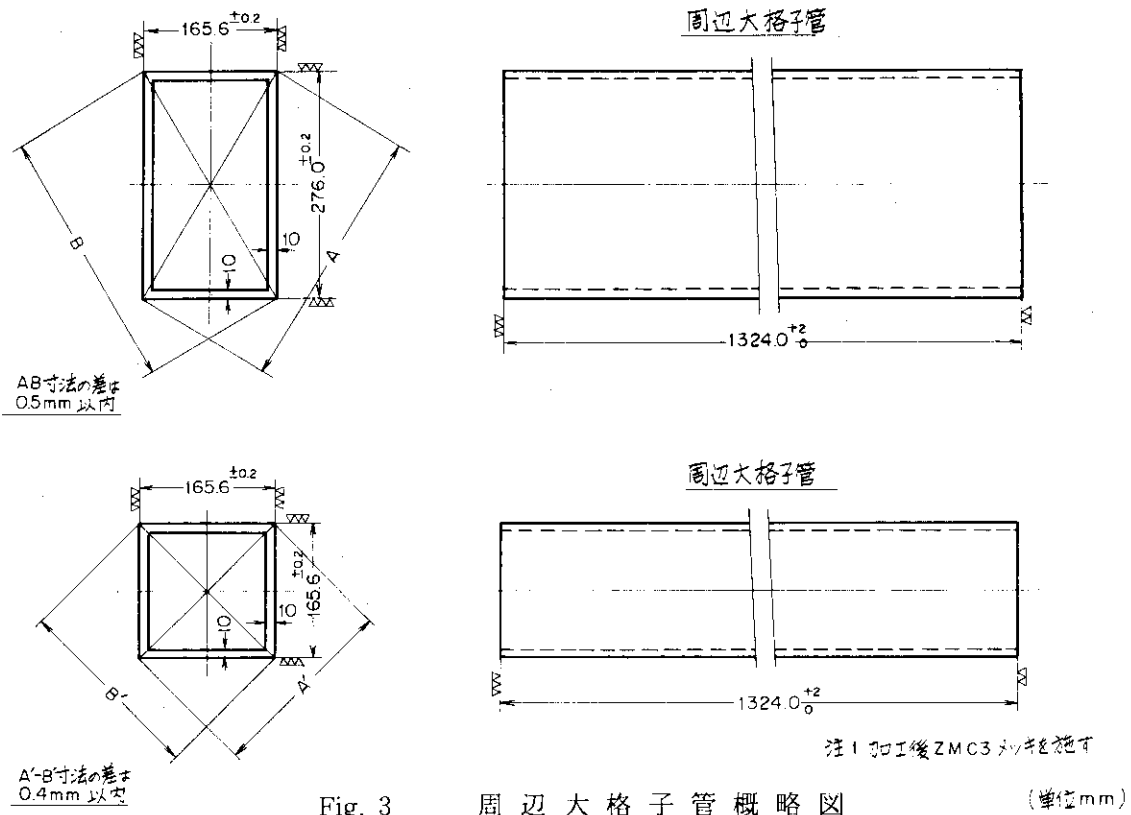
部番	名称	材料	数量
1	A-1バンドル管	SUS304TB	56
2	A-2バンドル管	SUS304TB	2
3	A-3バンドル管	SUS304TB	4
4	A-2'バンドル管	SUS304TB	1
5	A-2'バンドル管	SUS304TB	1
6	B-1バンドル管	SUS304TB	48
7	B-2バンドル管	SUS304TB	2
8	B-3バンドル管	SUS304TB	4
9	B-2'バンドル管	SUS304TB	2
10	周辺部大格子管	SS41	8
11	周辺部大格子管	SS41	16
12	移動側中心格子管	SUS304TB	1
13	固定側中心格子管	SUS304TB	1
14	上部締付金具	SS41	-2
15	側部締付金具	SS41	-8

Fig. 1 格子管集合体



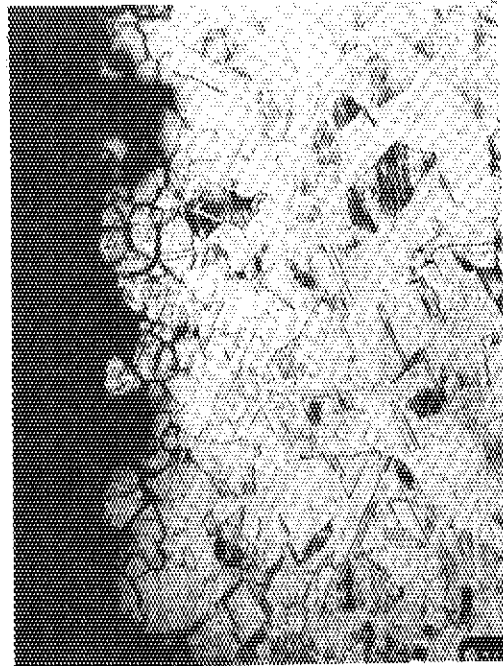
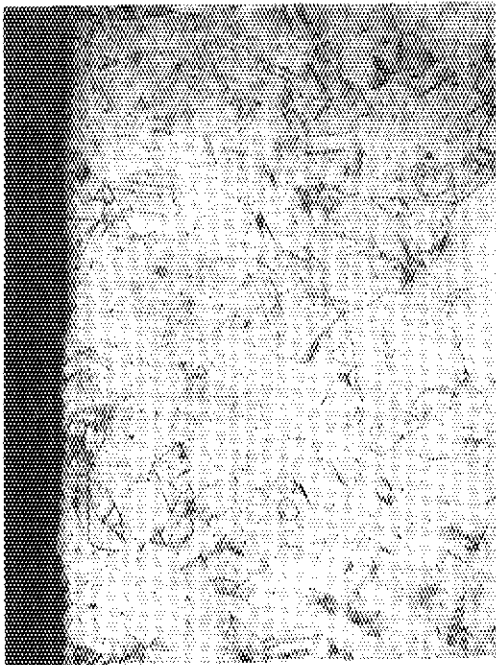
(単位 mm)

Fig. 2 バンドル管概略図

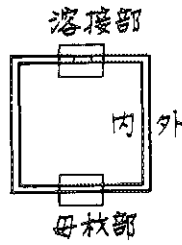


溶接部外側 x 100

溶接部内側 x 100

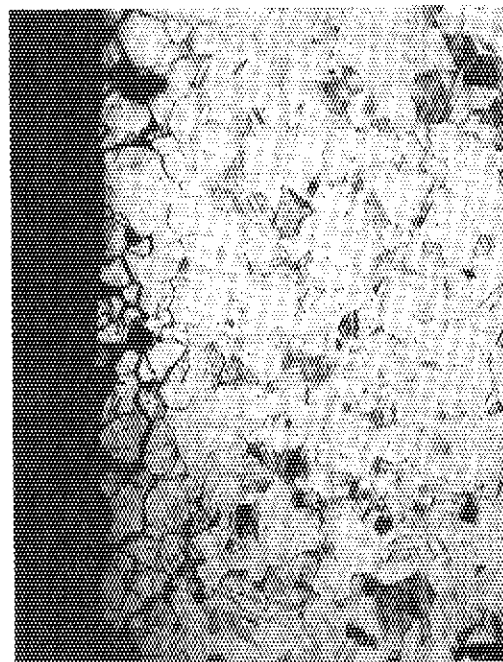


粒界腐蝕



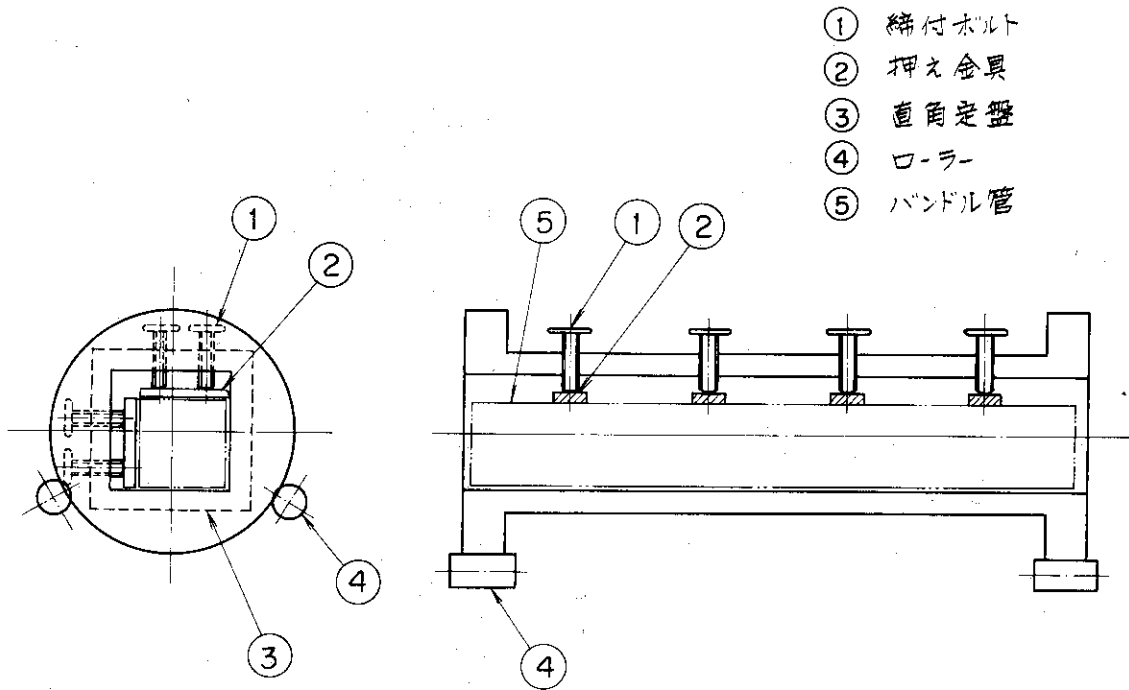
母材部外側 x 100

母材部内側 x 100



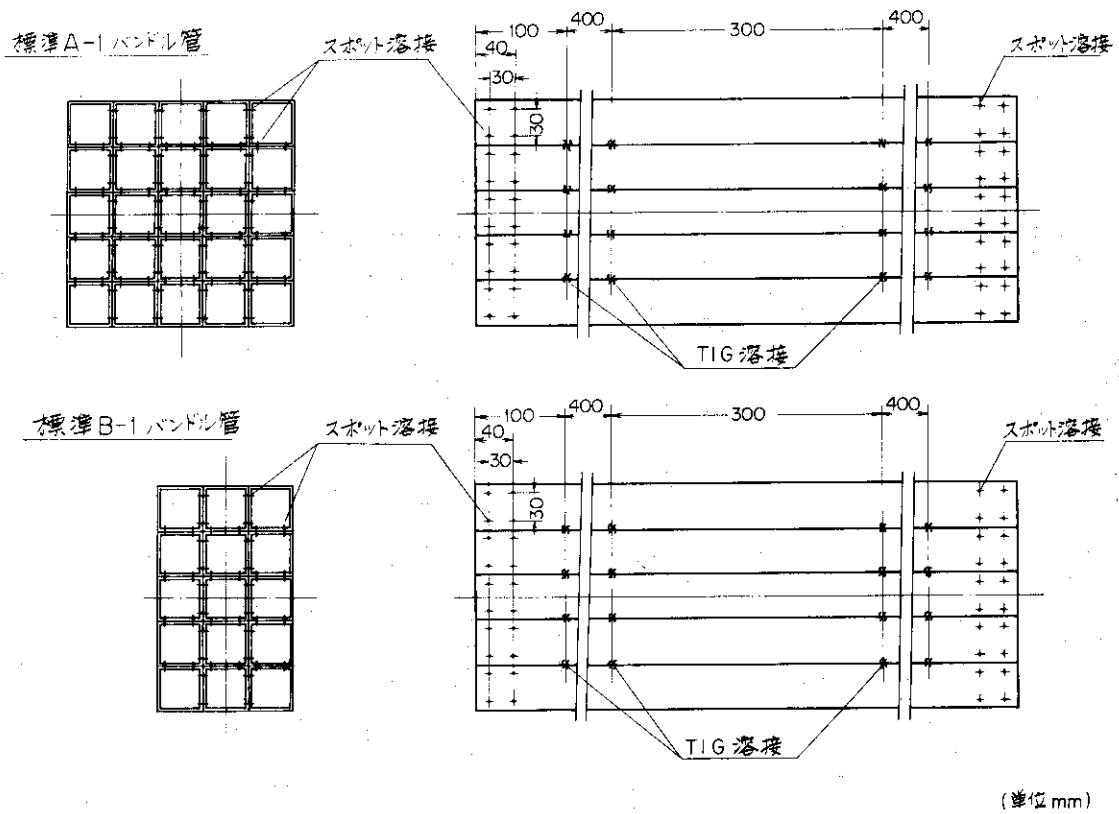
粒界腐蝕

Fig. 5 单格子管粒界腐蝕写真



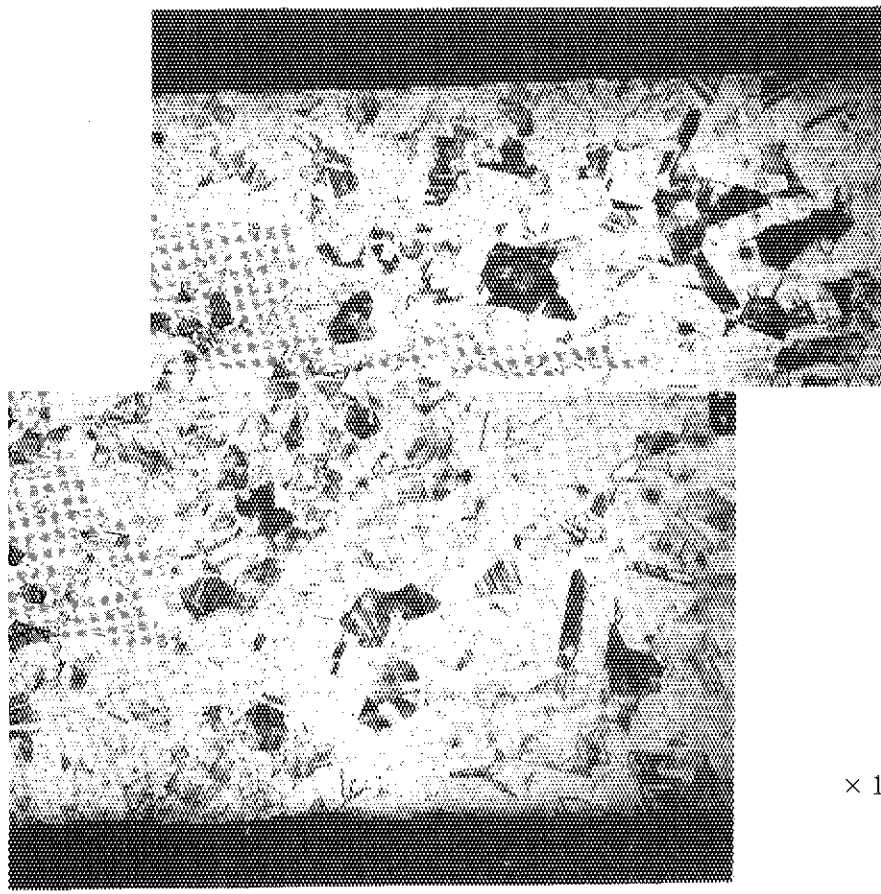
- ① 締付ボルト
- ② 押え金具
- ③ 直角定盤
- ④ ロ-ラー
- ⑤ バンドル管

Fig. 6 バンドル管締付治具



(単位mm)

Fig. 7 標準バンドル管溶接位置



× 100

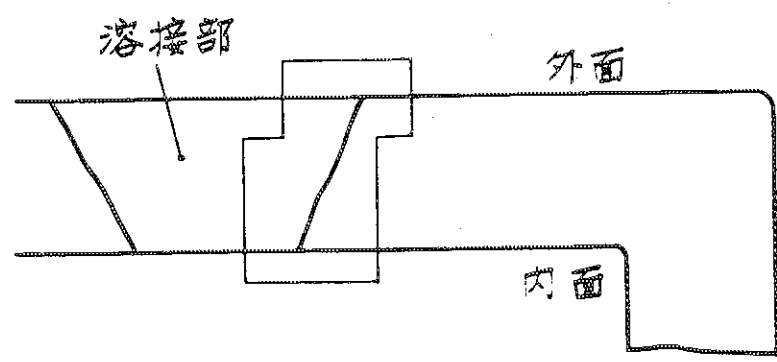


Fig. 8 フォトエッチング処理単格子管組織写真

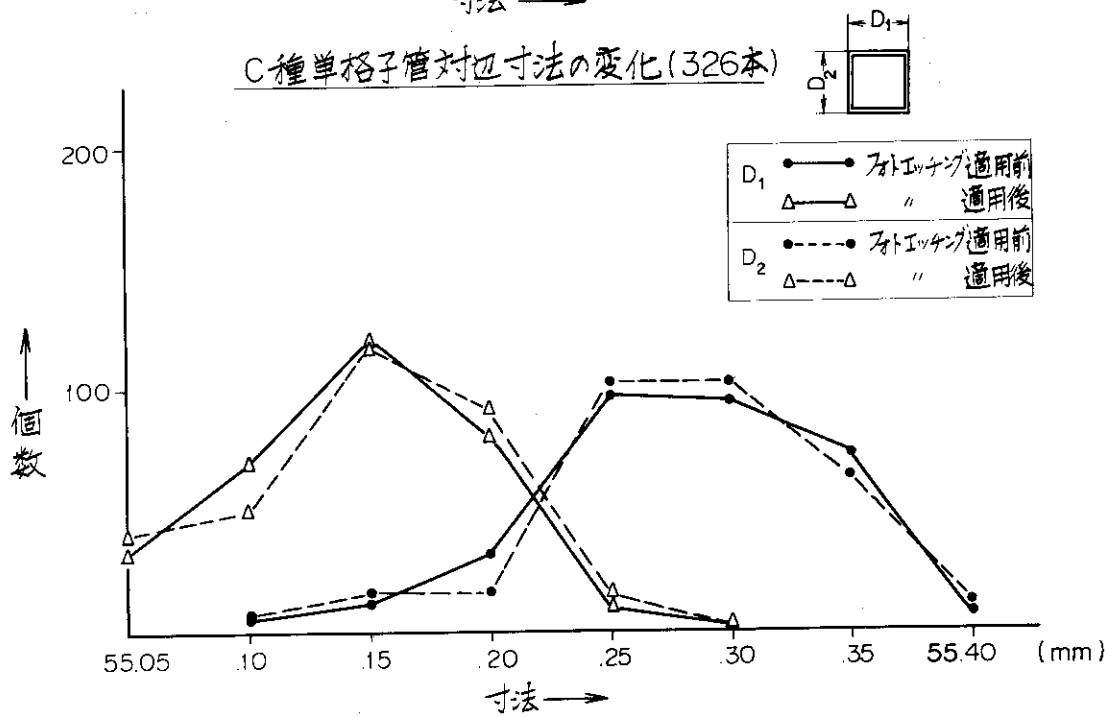
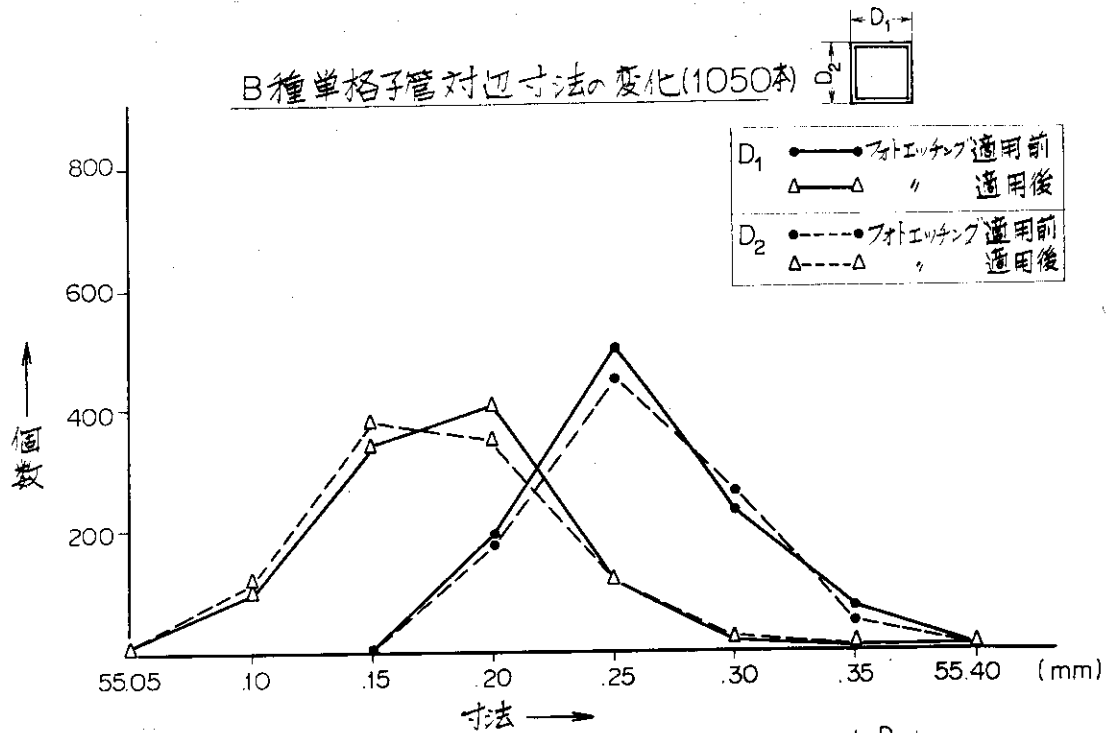


Fig. 9 フォトエッチング適用単格子管対辺寸法

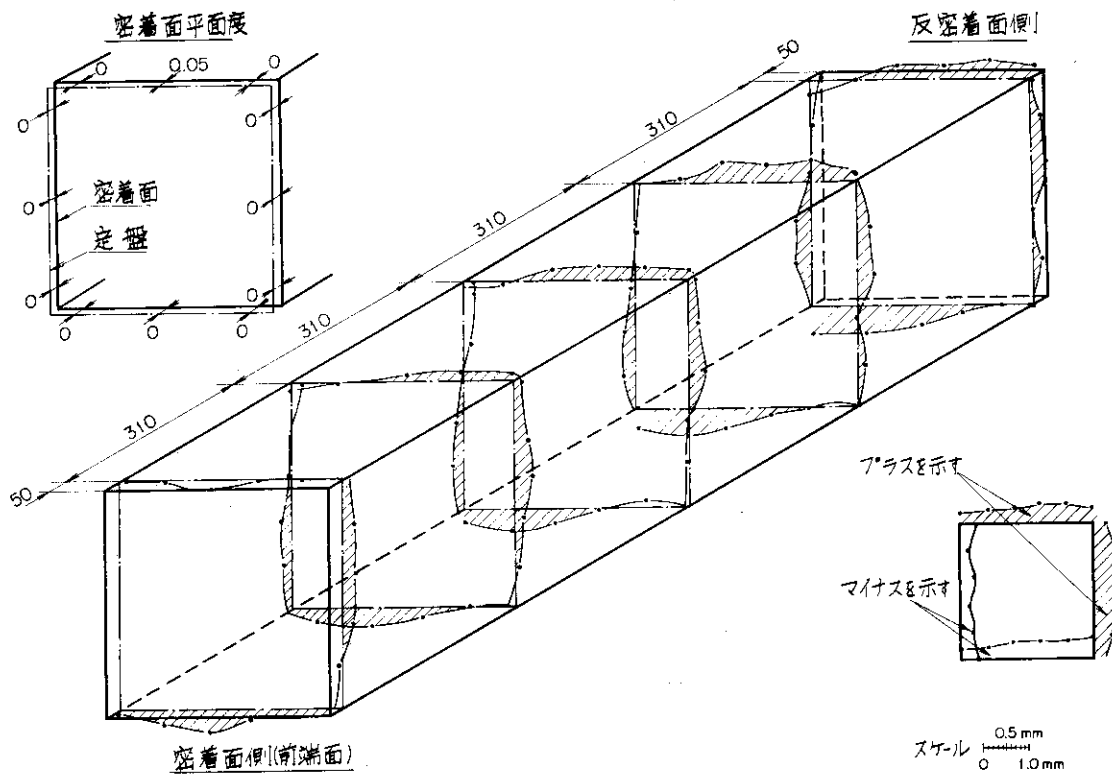


Fig. 10 A1バンドル管 (NO21-31) 寸法精度

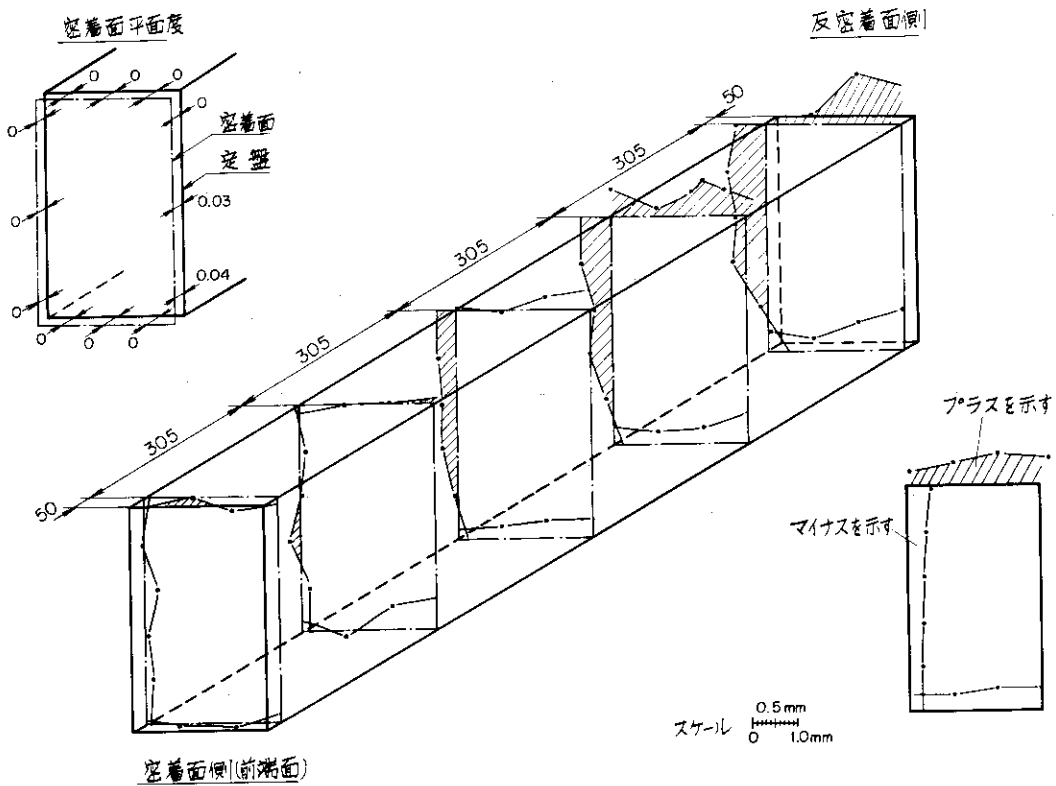


Fig. 11 バンドル管 (NO 41-1) 寸法精度

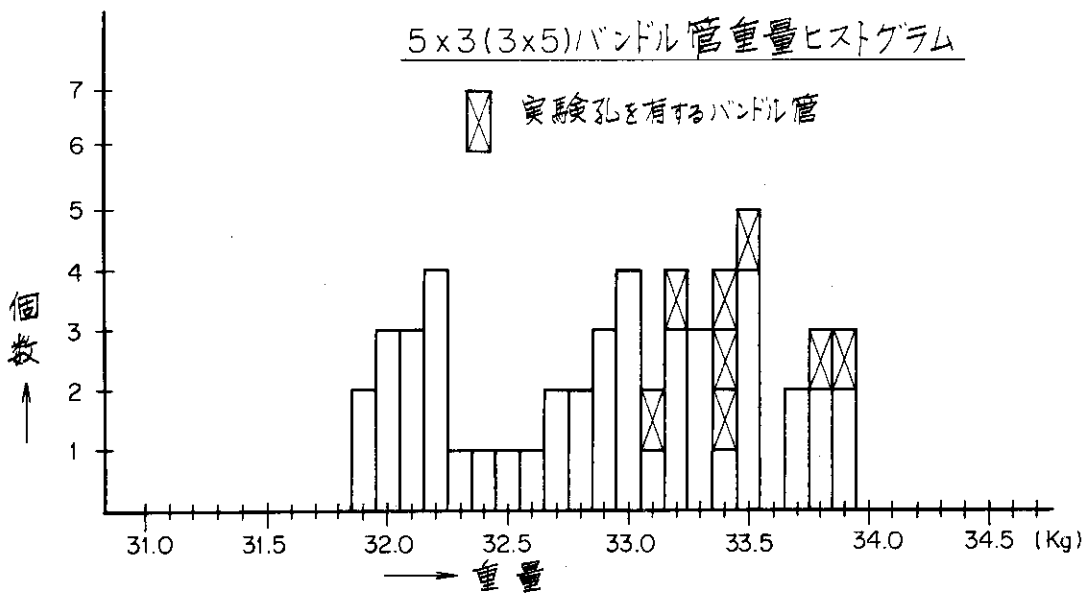
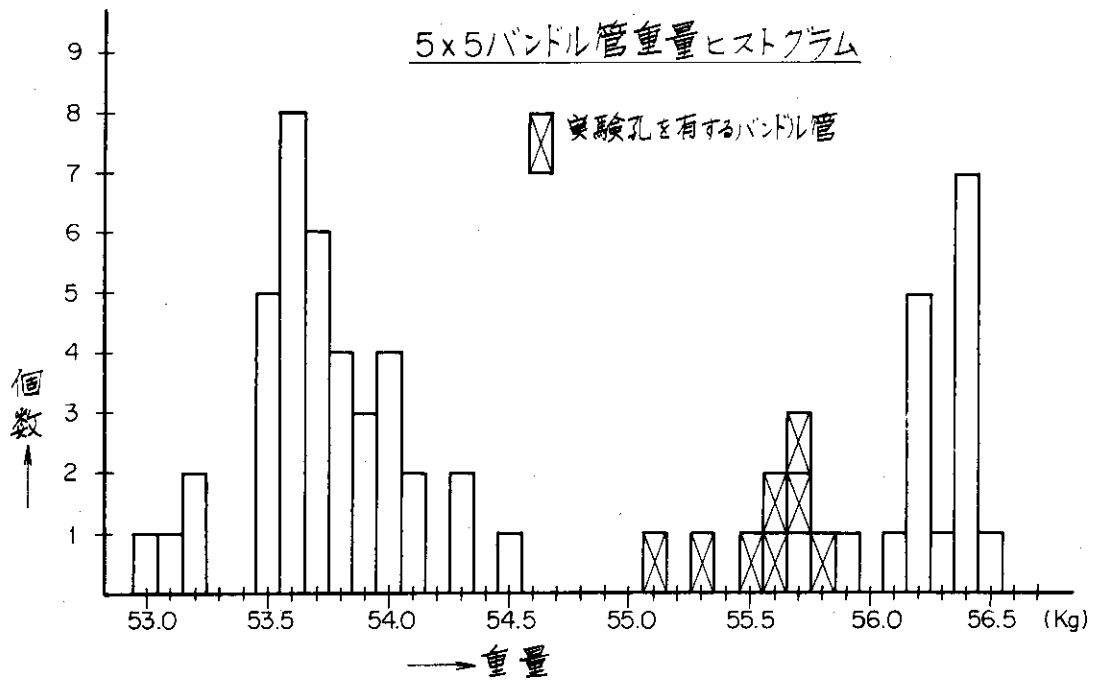


Fig. 12 バンドル管重量ヒストグラム

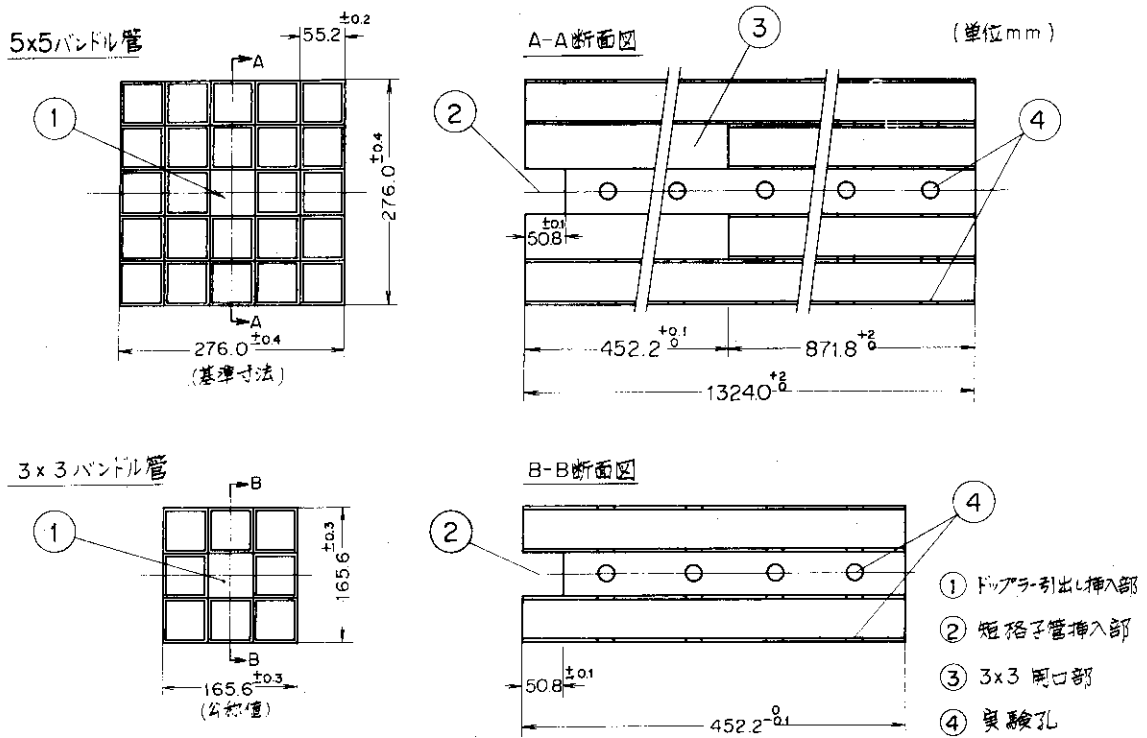


Fig. 13 51 × 51 固定側格子管集合体用中心バンドル管 (移動側用は ② が無い構造)

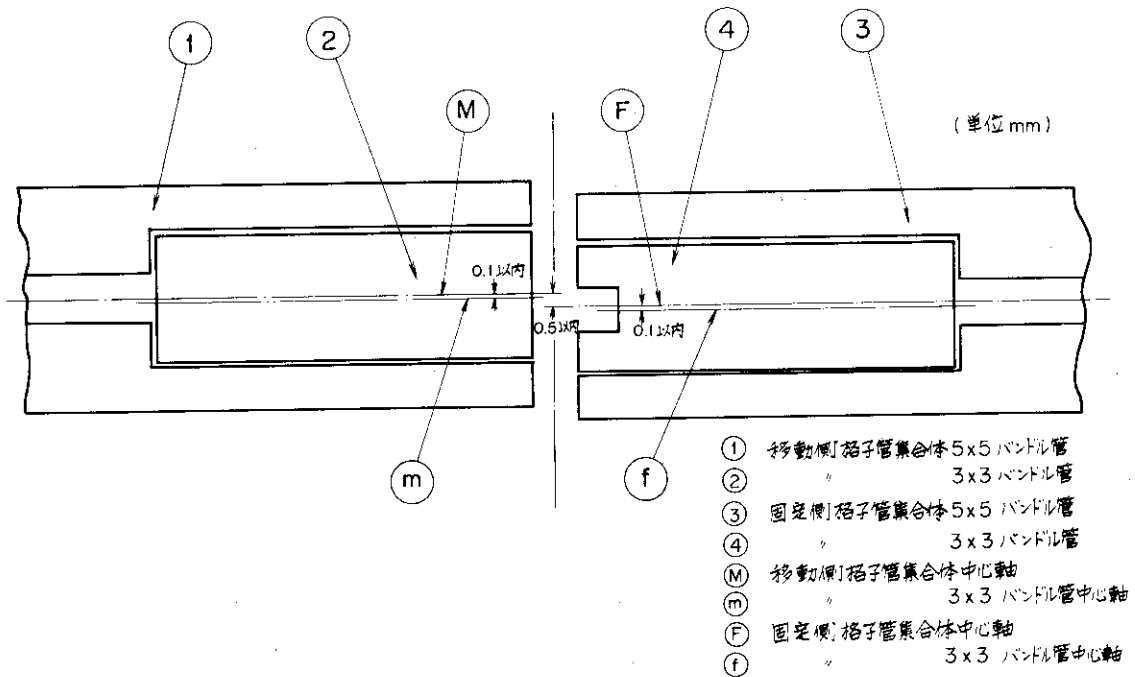


Fig. 14 中心バンドル管と格子管集合体中心軸のずれ

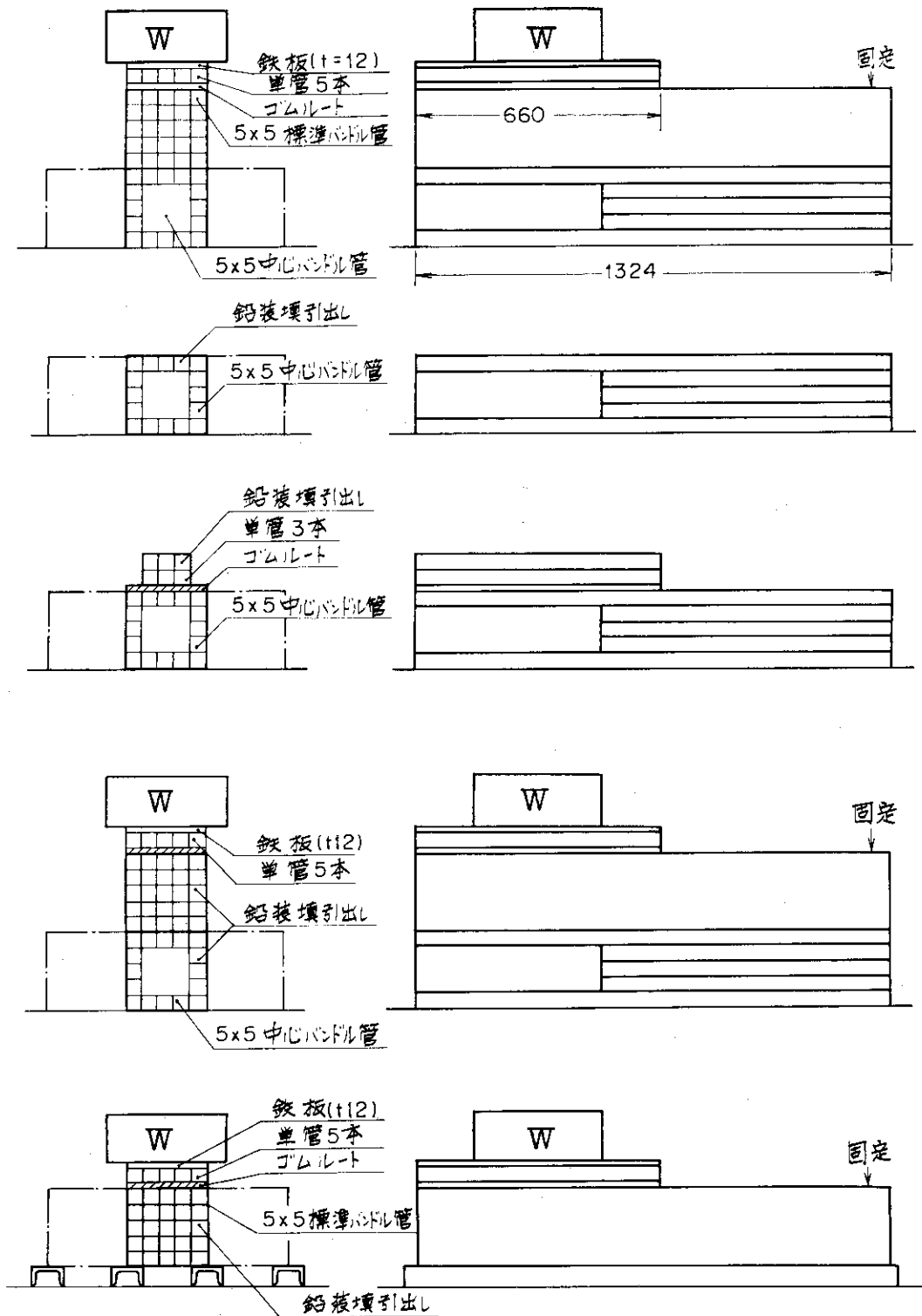
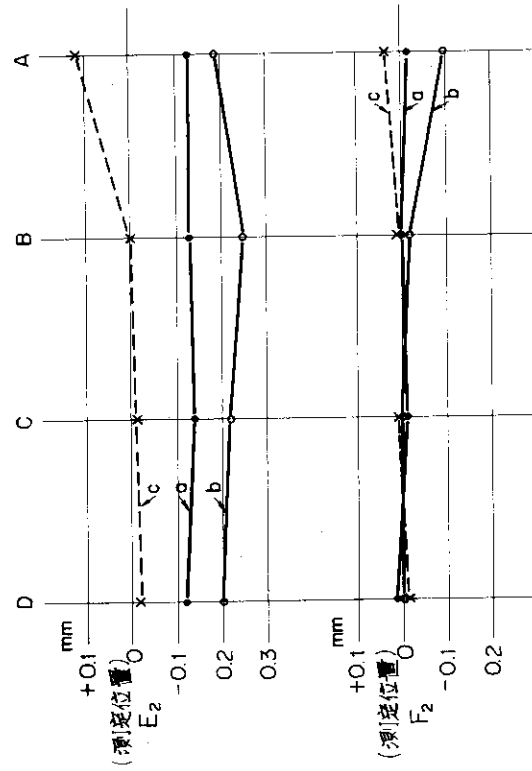
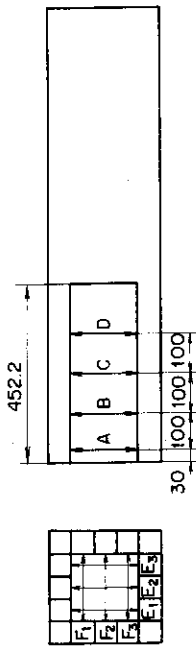


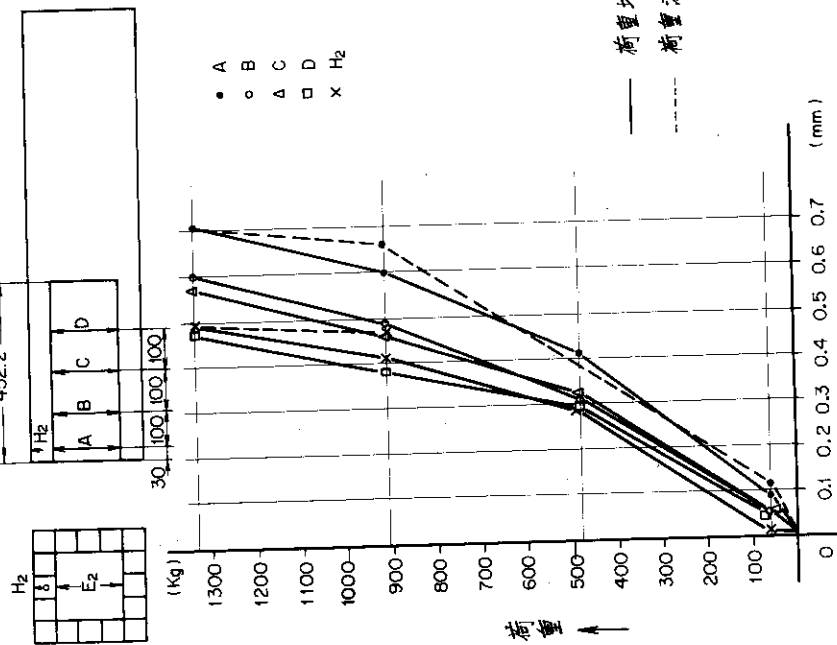
Fig. 15 荷重試験図 (模擬荷重)



注1) a, b, c は荷重を示し各荷重値は次の通り

- a — 荷重 54 Kg
- b — 〃 108 Kg
- c — 〃 0 Kg (荷重除去後)

注2) — 裂線は荷重増
 - - - 破線は荷重減



注) 本図は測定位置E₂のA-D系における変位および測定位置H₂の変位をプロットしたものである。

Fig. 17 中心5×5バンドル管荷重試験(奥行方向の変位)

Fig. 16 中心5×5・3×3バンドル管組合せ荷重試験(開口部の変位)

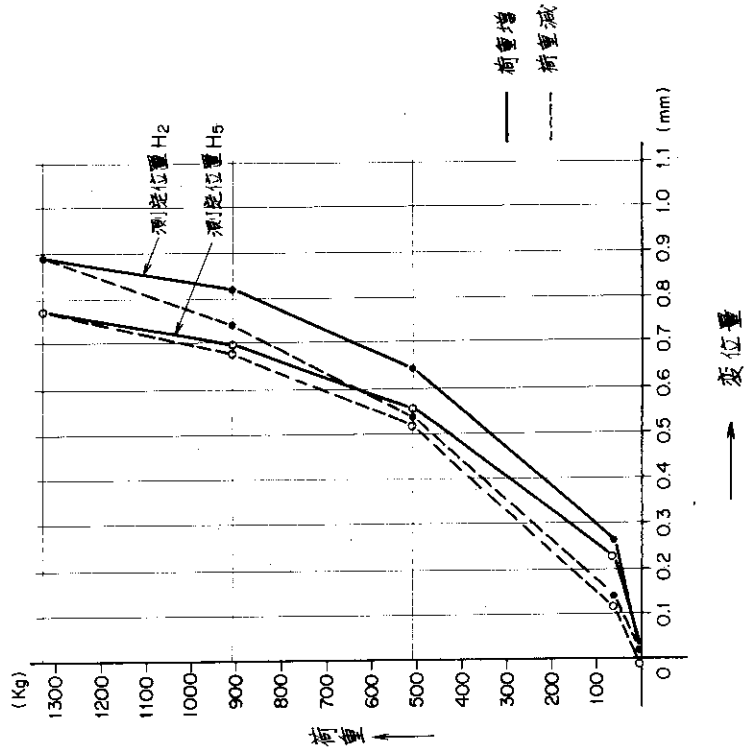
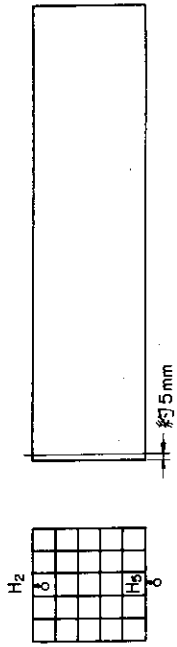
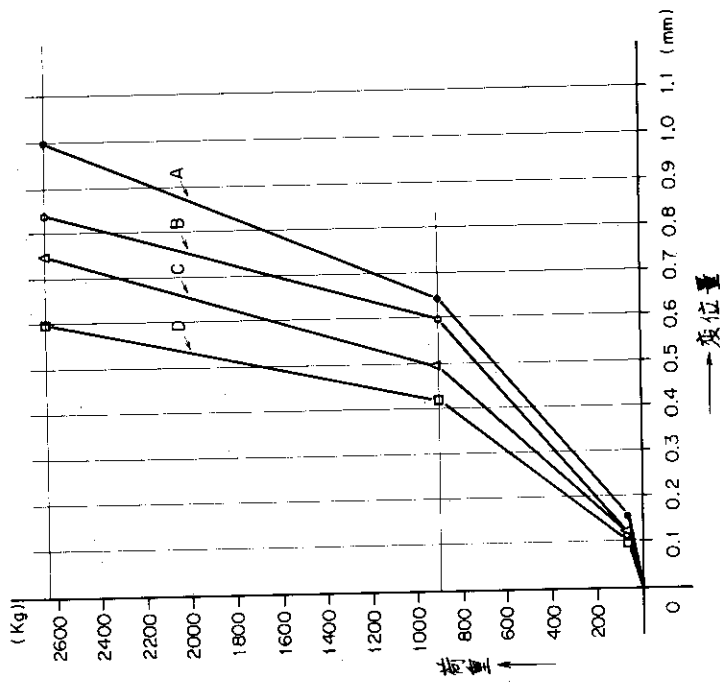
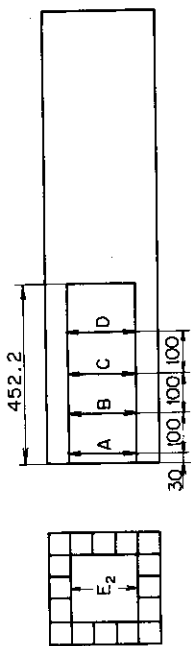


Fig. 19 標準 5 × 5 バンドル管荷重試験 (開口部の変位)



注) 本図は測定位置 E₂ の A~D 点における変位をプロットしたものである。

Fig. 18 中心 5 × 5 バンドル管耐荷重試験 (開口部の変位)

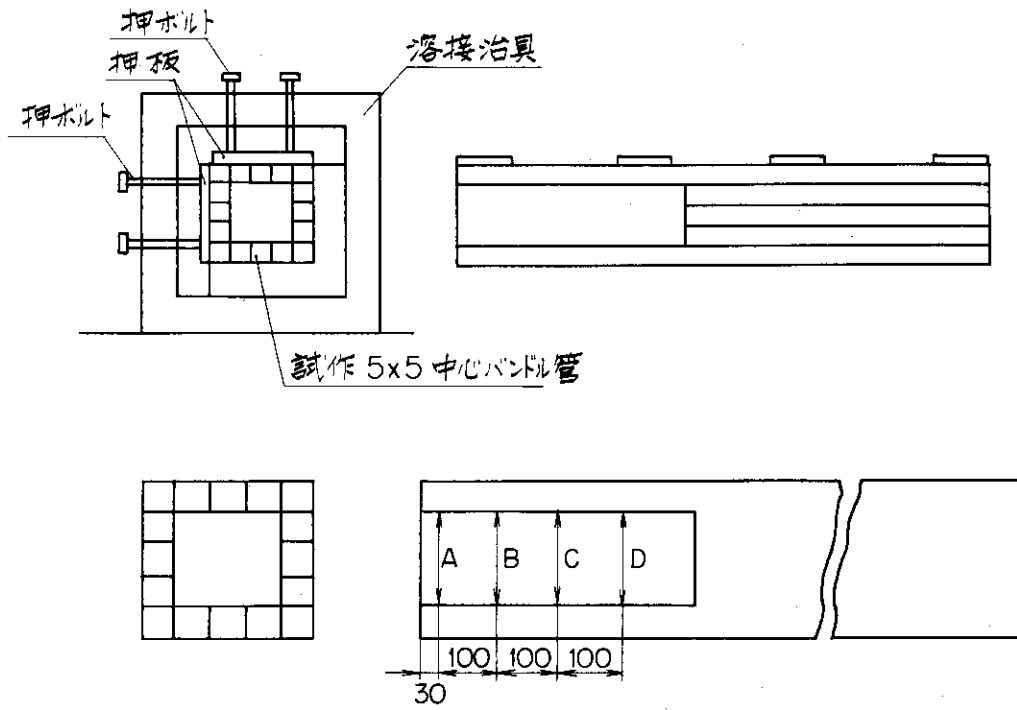


Fig. 20 - 1 縦／横荷重試験図 (ライナーなし)

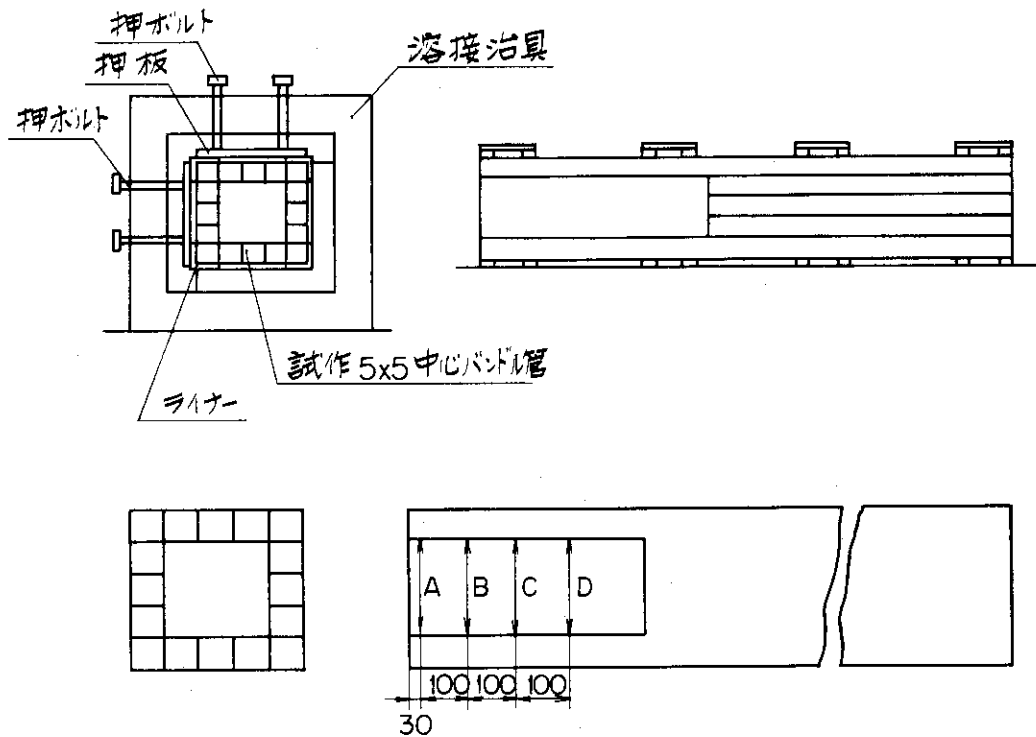


Fig. 20 - 2 縦／横ライナー挿入試験図

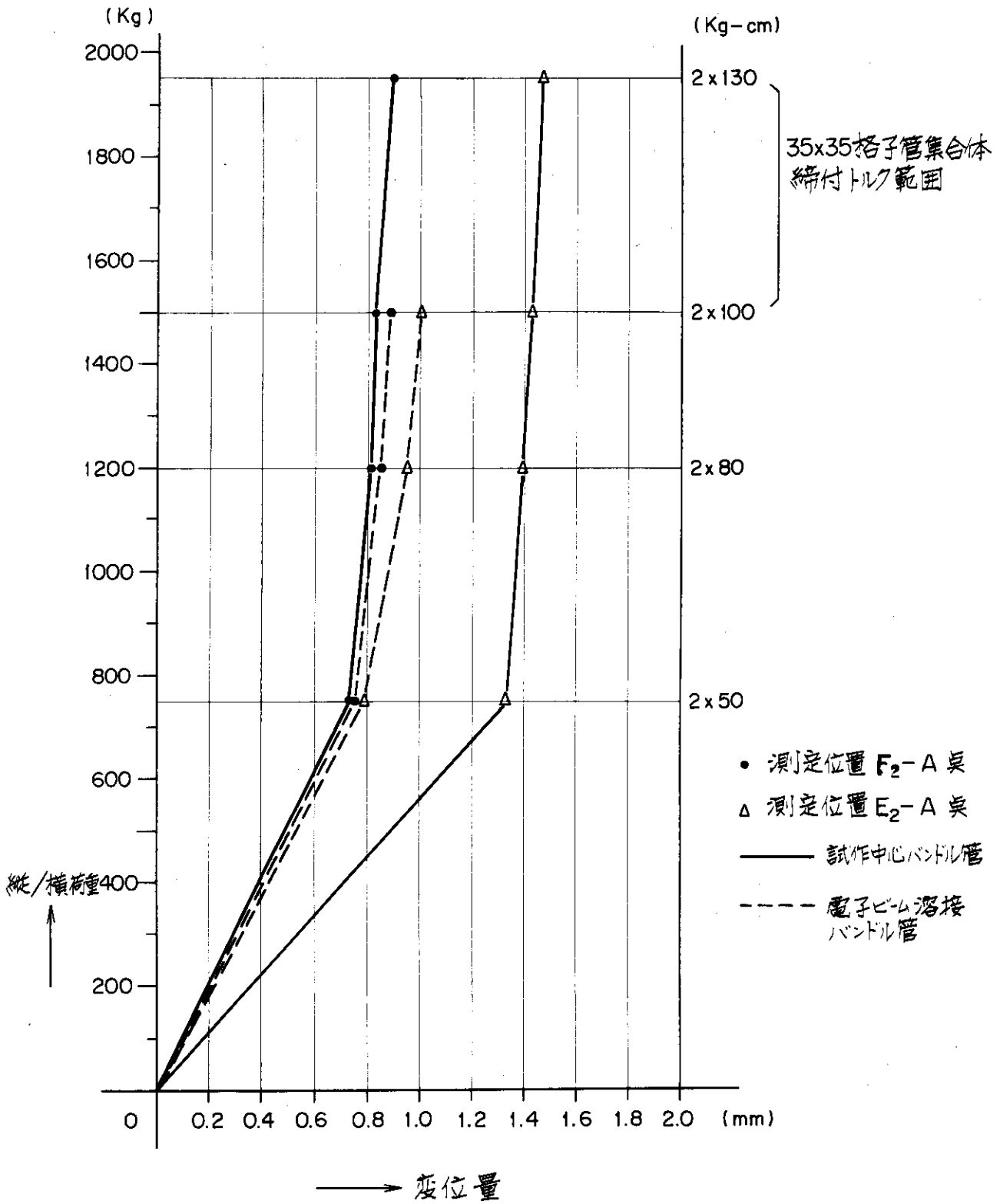


Fig. 21 中心 5×5 バンドル管・電子ビーム溶接バンドル管縦／横荷重試験

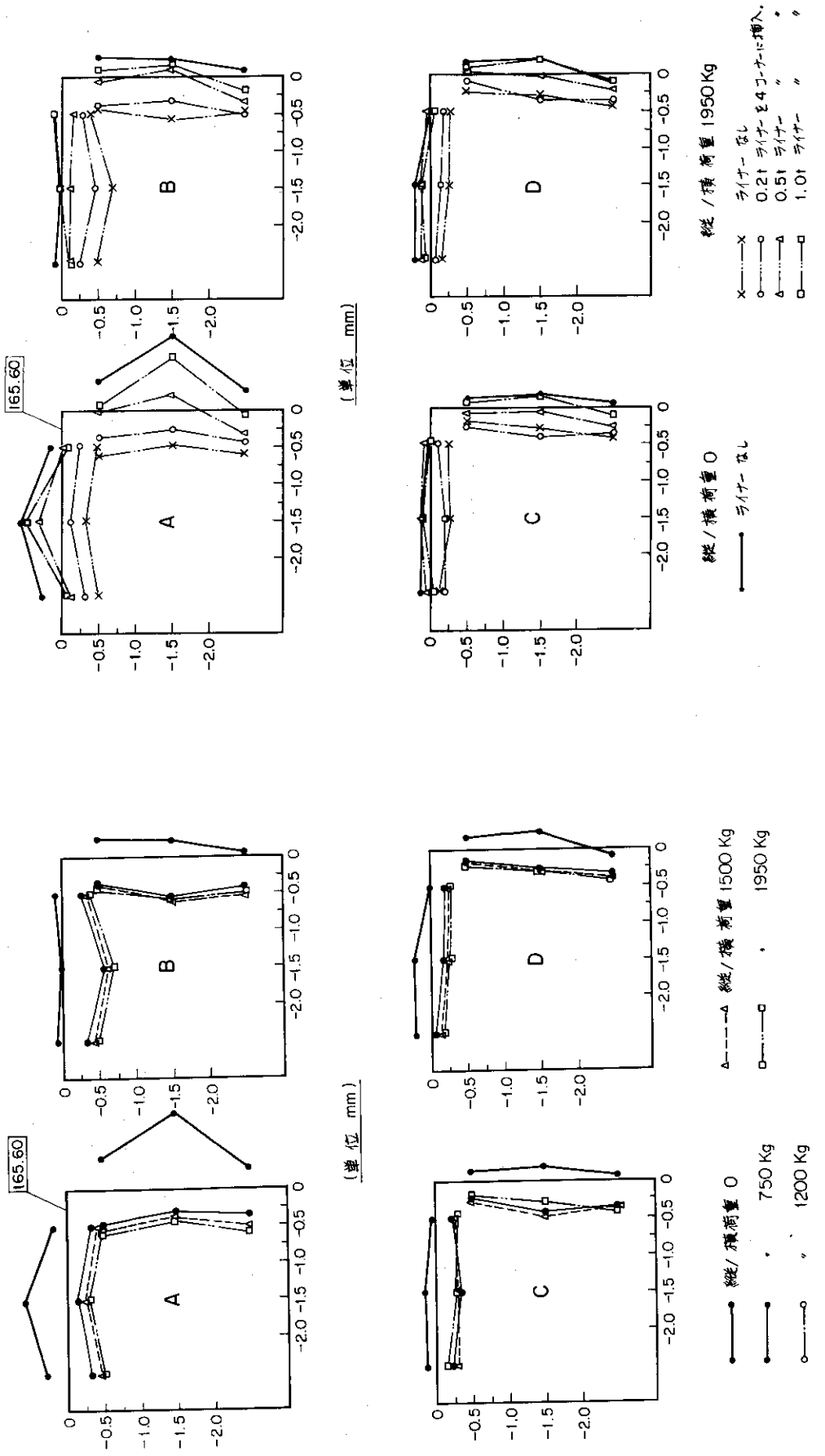


Fig. 22 中心5×5バンドル管縦／横荷重試験（開口部の変位）

Fig. 23 中心5×5バンドル管ライナー挿入試験（開口部の変位）

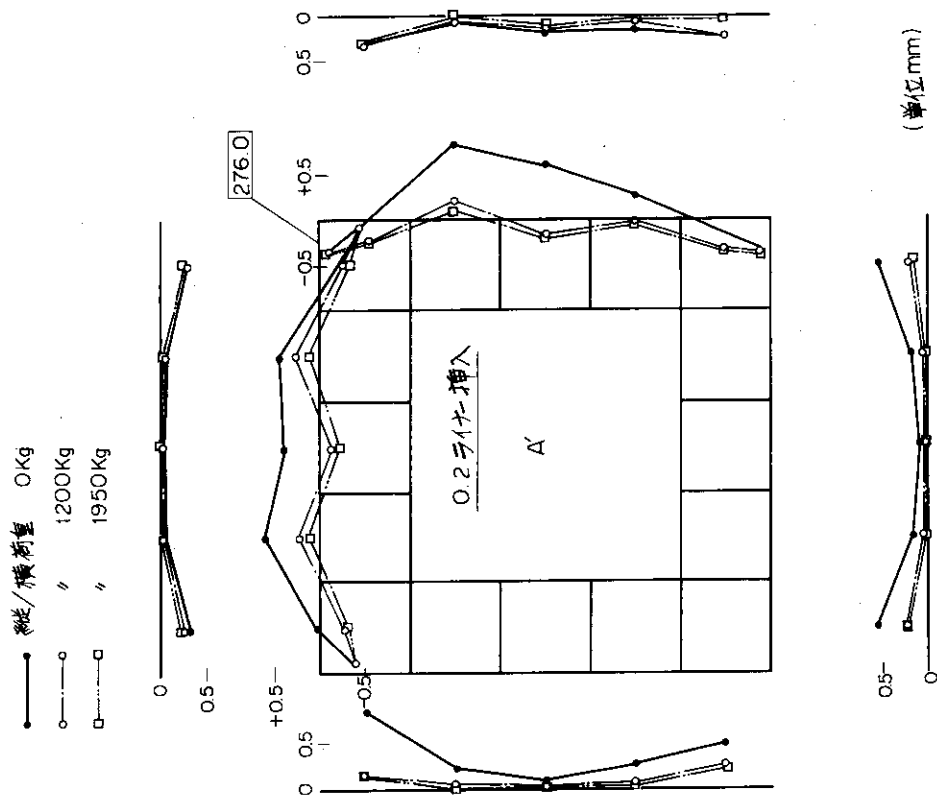


Fig. 24 中心5×5バンドル管ライナー挿入試験（外辺寸法の変位）

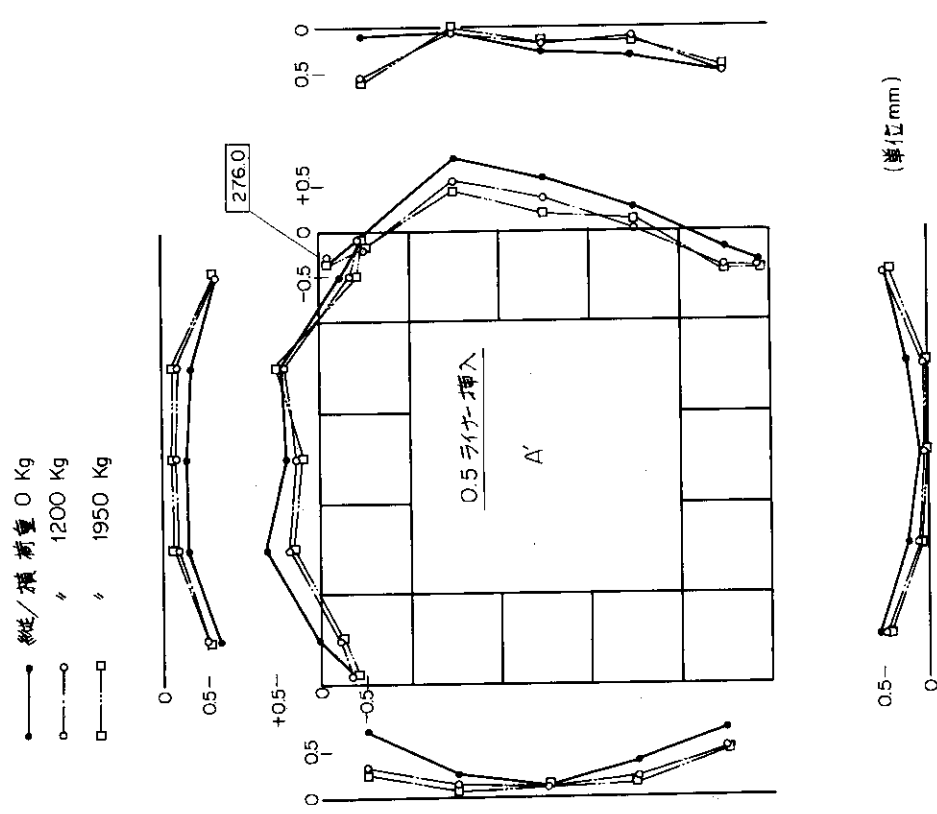
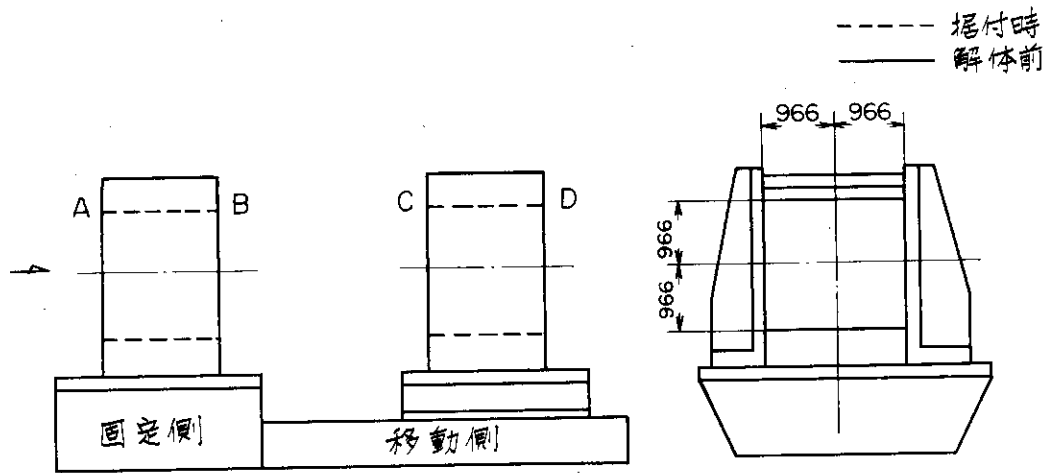


Fig. 25 中心5×5バンドル管ライナー挿入試験（外辺寸法の変位）



(單位 mm)

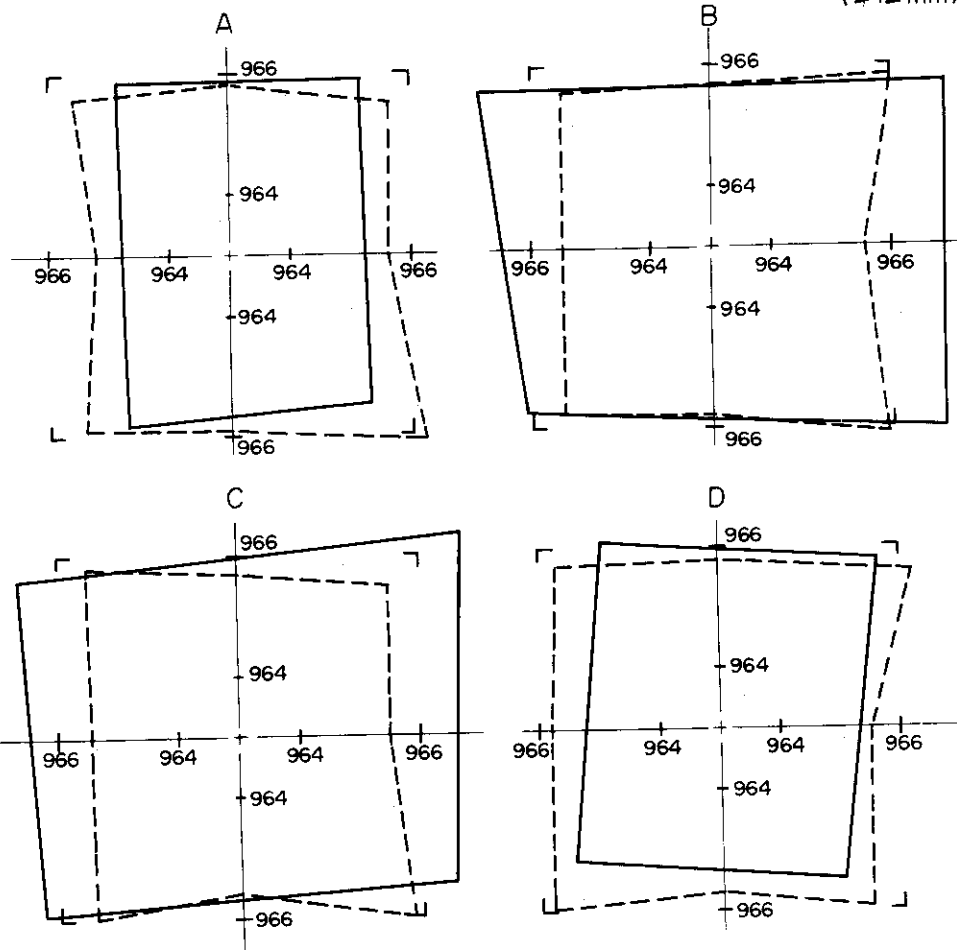


Fig. 26 35×35 格子管集合体外辺寸法

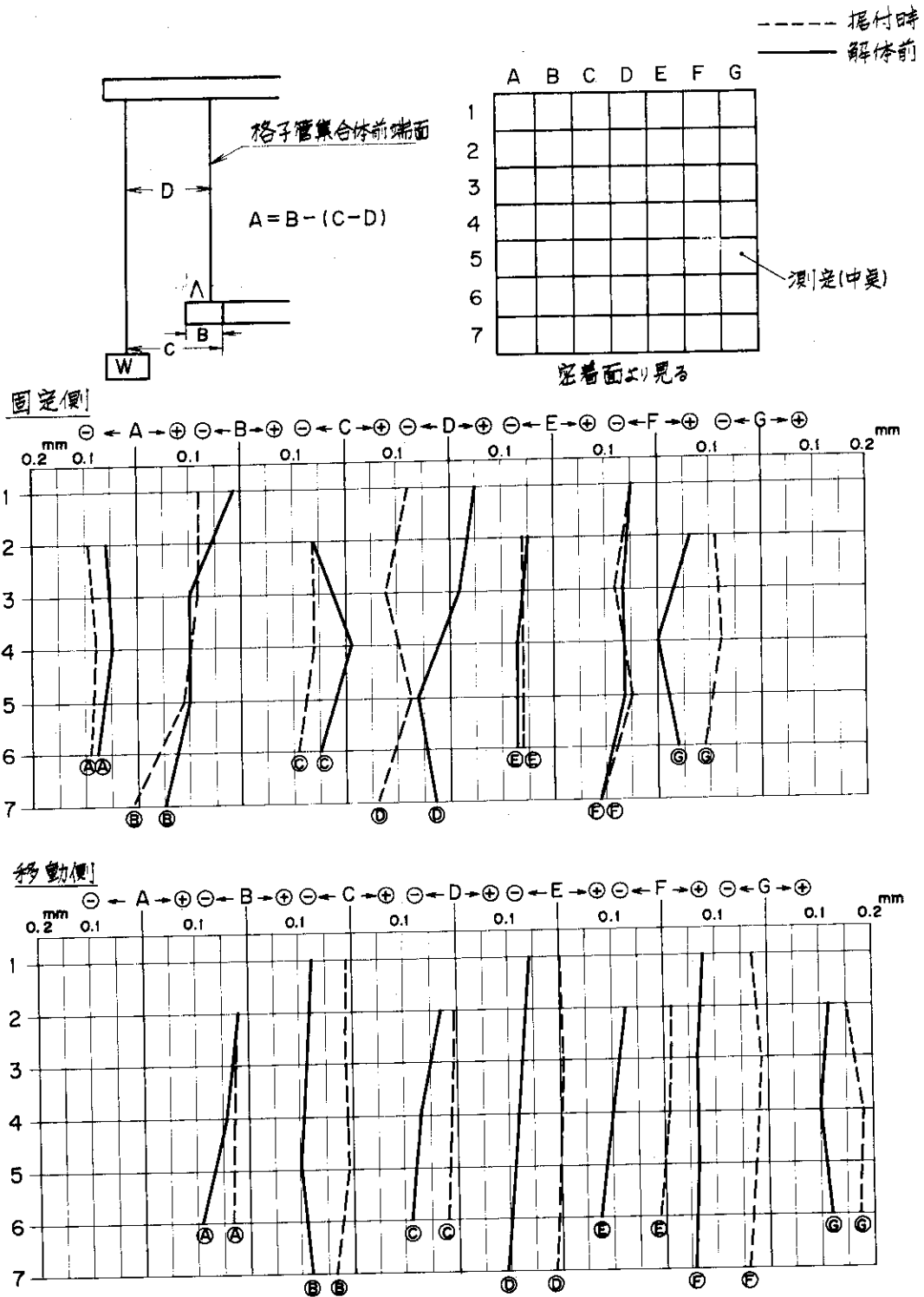


Fig. 27 35×35 格子管集合体端面の平面度

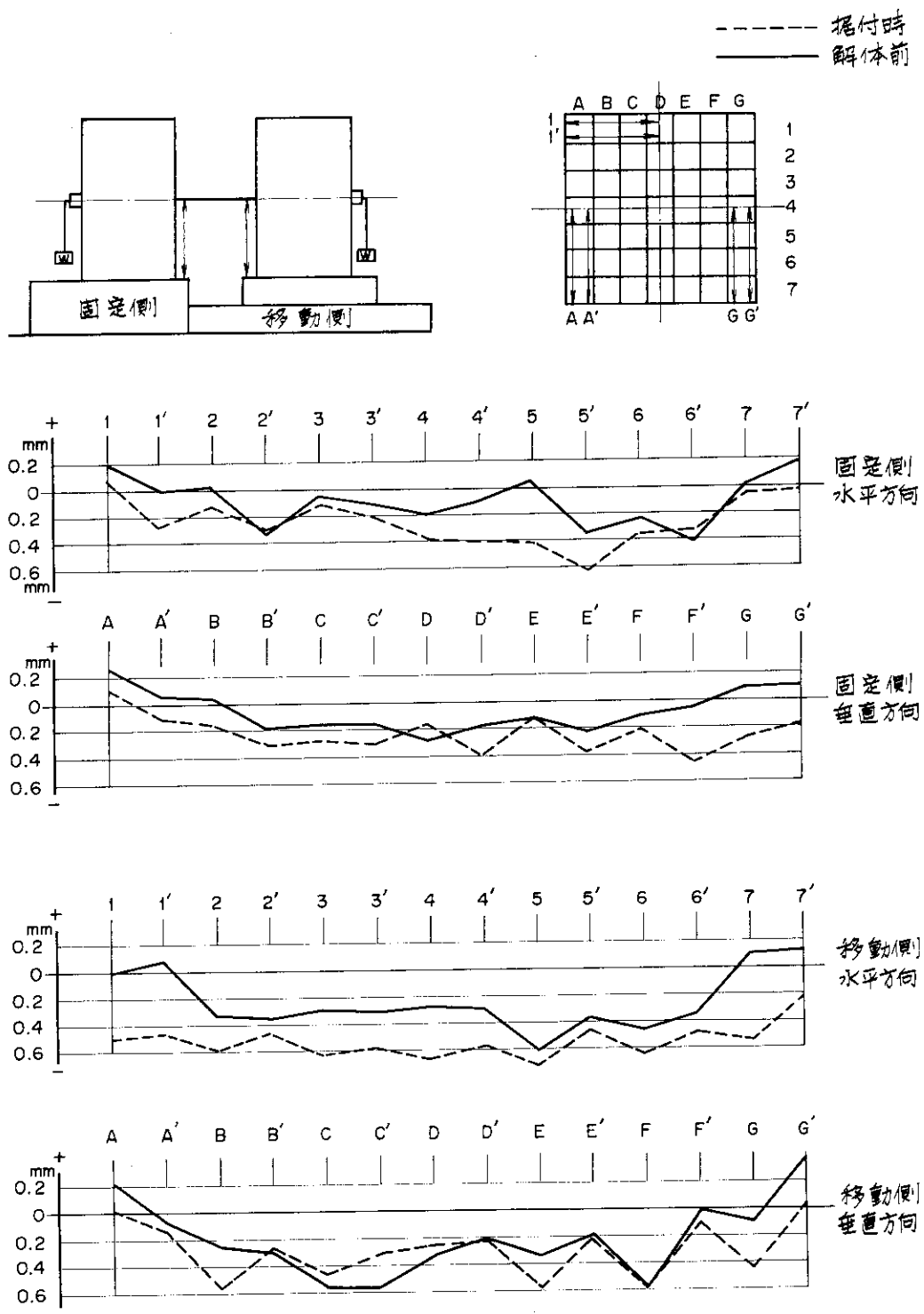


Fig. 28 35×35 格子管集合体中心軸のずれ測定

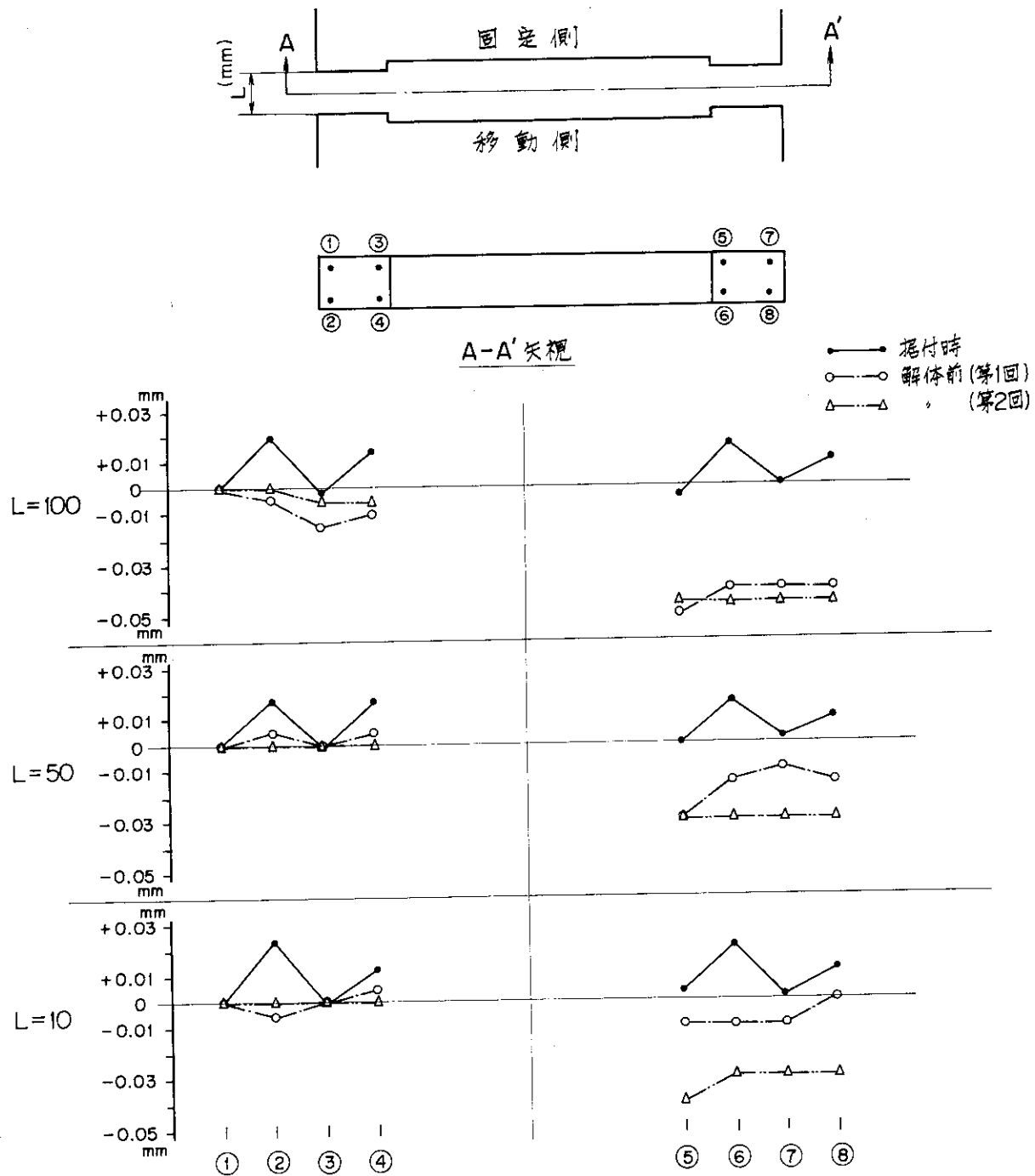


Fig. 29 35×35 格子管集合体テーブル平行度

2.4 51 × 51 格子管集合体

2.4.1 35 × 35 格子管集合体の解体および 51 × 51 格子管集合体の組立

固定側および移動側の各 1/2 格子管集合体は、従来の 35 × 35 格子管集合体より、51 × 51 格子管集合体に拡大されるが、拡大工事にさきだち、35 × 35 格子管集合体は、解体前寸法検査およびテーブル駆動機構性能検査（前章参照）ののち、一旦解体された。

この解体にともない、従来使用されていたベDESTAL¹は不要となり撤去された。

上部締付枠も、51 × 51 格子管集合体用のサイズに製作されていたものと交換するため、従来より使用のものは撤去された。

側部締付枠は従来より 51 × 51 格子管集合体用のサイズのもので使用されていたので、設置位置のみが変更された。この側部締付枠は、テーブル上面の平行度、平面度の光学的方法による精密検査ののち、テーブル上面における正確な芯出しにより設定された位置へ、基準面が垂直になるように設置された。

Fig. 30 に新旧集合体の比較を示す。

なお、各 1/2 集合体が完全密着に近い状態におけるテーブル密着面間の平行度は、実験に及ぼす影響が大きいため、解体前に行ったテーブル密着面平行度測定を、解体後も追加し、再現性に異常のないことを確認した。(Fig. 31)

前章に示されているように、51 × 51 格子管集合体は、中央部の旧バンドル管を新バンドル管が取り囲む形に組立てられたが、両者間のアラインメントの調整は、実験上の要求^{*2}により、ライナー（間隙用スペーサー）は使用せず、締付金具の締付トルクのみで行った。

ただ例外として、中心バンドル管のコーナー部にのみ L 型のライナーを使用した。

これは次節の記述にもみられるように、寸法的に締付トルクの影響をもっとも受けやすい各対辺中央部が、周囲の標準バンドル管から受ける締付圧力を軽減するためにとった措置であり、ライナーを入れない場合と比較して、非常に有効であった。

旧標準バンドル管は従来と同じ配置に組立てられたが、制安棒に使用されていたバンドル管（固定側、移動側各 4 個ずつ）は、これまでの長期の制御安全棒引出しの挿入引抜きによって荒れた摺動面を避けるために、上下に 180° 反転させて配置した。

新バンドル管は寸法検査の記録をもとに、適切な位置に配置された。

組上げられた集合体は、上部締付枠の取付後、上部および側部両締付枠の締付金具により軽く締付られ、密着面側の端面（前端面）に仕上代を残して揃えられた。この作業は密着面側または反密着面側の端面に木片を当て、その上から軽くハンマーで叩くことにより行われた。

実験孔を有するバンドル管は、実験孔用スリーブ管の挿入テストを適宜行いながら、相互に実験孔のずれがないように前端面を揃えられた。

2.4.2 中心バンドル管の組込調整および検査

(イ) 中心バンドル管現地組込調整

中心バンドル管 (Fig. 32 参照) は R & D として製作されたものであり、前章で詳述されたような綿密な工場試験を経たのち、移動側格子管集合体に試験的に組込まれた。これは中心バンドル

管を格子管集合体に組込んだ場合の3×3バンドル管の挿入引抜性能およびライナーを挿入したときの周囲の標準バンドル管配列への影響を調査し、最終的組込条件を決定するため、はじめに中心バンドル管に接する周辺バンドル管の外形面の平坦度の確認を行い、さらに次の順序で試験の準備をすすめた。

○ 仮組立ての経緯

- (1) 仮組立てをした移動側格子管集合体を解体する。
- (2) ライナーを製作する。ライナーは工場での荷重試験結果より、試験的に Fig. 33 に示すように 0.2 mm を2枚合わせて、0.4 mm にして挿入することにした。
- (3) 試作中心バンドル管を移動側格子管集合体に組込み、4隅に上記厚みのL型ライナーを挿入する。軸方向のライナー配置は格子管集合体の締付金具当て板位置との関係から決められた。Fig. 34 はその配置図である。
- (4) 格子管集合体を最上段まで組上げ、集合体アラインメントを調整しながら締付金具による仮締付を行う。

3×3バンドル管の挿入引抜きは、5×5バンドル管を格子管集合体に締付無しで組込んだ状態では 30 kg の力で可能であったが、格子管集合体中心軸・基準面間距離が基準寸法 1407.0 mm になるようにアラインメントを調整した締付力では不可能であった。この時の開口部寸法を Fig. 35 に示す。

図より 0.4 mm のライナーを挿入した現地試験の開口部寸法の変位量および開口部断面形状は、工場における 0.2 mm ライナーによる締付荷重試験の結果に類似している。

これより格子管集合体に挿入したライナーは、溶接治具に挿入した場合より効果が少ないことがわかる。これは、周囲の5×5バンドル管がたいこ型にできているため、中心バンドル管のコーナー部に挿入したライナーが作用する前に、中心バンドル管の外辺中央部を押しこんでしまうからである。したがって、工場試験のライナー効果と同様の効果を得るには、さらに厚さを増さねばならない。

ライナーの周辺バンドル管配列への影響は、締付状態でシックネス・ゲージおよび目視により、中心バンドル管との隙間を確認したが、予想したよりも影響は少なく、問題はなかった。

現地および工場試験の結果を総合的に評価し、格子管集合体アラインメントおよびバンドル管への影響を考慮したうえで、最終的にライナーを 0.5 mm に変えることに決定した。この方針のもとづき、移動側格子管集合体を再び解体し、新しく製作した 0.3 mm と 0.2 mm のライナーを組み合わせ、0.5 mm ライナーとして使用して、試作中心バンドル管を組込み、格子管集合体中心軸・基準面間距離が 1407.3 mm に調整しながら締付を行った。Fig. 36 にライナーおよび配置位置を示す。また 0.5 mm ライナーを挿入したときの開口部寸法を Fig. 37 に示す。

図より、開口部寸法は 0.4 mm ライナーの場合よりもさらに変位量が大きくなり、0.1 mm プラスした効果がみられない。この理由は次の2点と考えられる。

- (1) ライナーの厚さは 0.4 mm より 0.5 mm にプラスしたが、0.2 mm と組合わせた 0.3 mm ライナーの長さを短くしたため、バンドル管同志のギャップがせまくなると作用しない。つまり中心バンドル管外辺中央部が押しこまれてからライナーが利きだす状態になった。
- (2) 0.4 mm ライナーの場合は、格子管集合体中心軸・基準面間距離が 1407.7 mm になるよ

う締付けたが、0.5 mm ライナーでは 1407.7 mm に調整するためさらに締付けた。この結果、中心バンドル管に加わる荷重も増加した。

この結果にもとづき対策を検討した結果、格子管集合体を再度解体してライナーの長さを調整するには工程上余裕がないことから取りやめ、締付力をゆるめて格子管集合体中心軸・基準面間距離を 1407.6 mm に変更して、開口部寸法の測定を行った。その結果を Fig. 38 に示す。

図よりあきらかのように、締付力をゆるめた状態でも仕様寸法 165.60 mm よりも 0.5 mm マイナスになっており、この寸法では 3 × 3 バンドル管の挿入は不可能である。

しかし、これ以上締付力をゆるめることは格子管集合体の耐震性の面から好ましくなく、またライナーの厚さを増すことは格子管集合体のアライメントに影響がでてくることからできないことである。

この時点で再度検討を行ない、最終方針として、ライナーおよび締付力は現状のままとし、中心バンドル管開口部の加工と、3 × 3 バンドル管側面の加工とを行った。その結果、移動側格子管集合体に組込んだ試作中心バンドル管はそのまま製品として使用することになった。

固定側の中心バンドル管は、移動側の中心バンドル管よりおくれて製作が開始されたが、工場における 0.2 mm および 0.5 mm ライナー挿入による試験の結果は移動側中心バンドル管よりも良い結果がでていたことから、格子管集合体への組込みも移動側中心バンドル管に準じて行うことになった。ライナーの厚さは 0.5 mm とし、長さは周辺バンドル管の平坦度を測定したのち決められた。Fig. 39 は締付後の開口部寸法を示す。

移動側中心バンドル管に比べ、各辺の開口部寸法の変位量は一定しており、製品としてはこちらの方がよいといえる。

(ロ) 中心バンドル管の修正加工

中心バンドル管の修正加工は、開口部と 3 × 3 バンドル管の両方について行った。まず開口部の加工を格子管集合体の前端面の加工と平行して進めた。開口部寸法が 165.10 mm 以下の部分は、ハンマーで整形し、さらにやすりで研削した。格子管集合体に組込まれた状態では、作業性が悪い上、手作業で行ったためかなり時間がかかった。3 × 3 バンドル管の修正加工は、開口部の修正加工に引続いて行われた。この加工はサンダーで表面を削って行ったが、加工時に冷却と拘束を省略したために、単格子管の残留応力が局部的に解放されて、削った面に変形がでてしまい、開口部に挿入することが不可能になった。そのため一旦工場へ持帰り、溶接治具で拘束したうえでバンドル管両端部を TIG 溶接し、さらに手仕上げで表面を平坦にした。この結果外辺寸法は製作時の寸法より 0.4 mm マイナスの 165.1 mm ~ 165.2 mm になった。

工場での修正加工が終了したのち、再び現地において中心バンドル管開口部に合わせながら加工を行い、一応スムーズに挿入引拔ができるようになった。格子管集合体無荷重状態での引抜力は、移動側、固定側とも 45 kg であった。

(ハ) 中心バンドル管の検査

中心バンドル管の検査は、外観検査、寸法検査、重量検査、総合機能試験の 4 点について行われた。寸法検査の結果を Table 13 に示す。総合機能試験は固定側、移動側中心バンドル管を 51 × 51 格子管集合体中心に組込み、最終組立調整を終了した状態にて、無荷重(ただし格子管集合体締付金具による締付力は有)、荷重の条件で行われた。測定項目は中心軸のずれ、前端面平面度、

開口部内奥端面密着度，開口部寸法， 3×3 バンドル管外辺寸法，中心バンドル管とその周辺バンドル管との端面密着状況，配列ピッチ状況の確認，性能試験としては， 3×3 バンドル管の挿入引抜性能の確認，引出しの挿入引抜の確認が行われた。以下の検査の結果について簡単にまとめる。

① 総合機能試験 A (無荷重条件)

格子管集合体の組立調整が終了したのち， 51×51 格子管集合体無荷重検査と平行して中心バンドル管の試験が行われた。格子管集合体に組込まれた状態での周辺バンドル管との密着度，配列ピッチは他の部分に比較しても変りはなく，ライナーの影響は少ないといえる。中心バンドル管開口部寸法および 3×3 バンドル管外辺寸法を Table 14 および Table 15 に示す。寸法検査の結果，開口部，外辺寸法については問題はなかったが， 3×3 開口部内奥端面密着度をベアリングレッドで見たのち，奥行寸法を測定したところ仕様寸法の 452.20 mm より短いことが判明した。

この寸法は将来実験で使用する予定のカランドリアの寸法にも関係してくることから，再度測定を行って確認したところ，固定側で 0.25 mm ，移動側で 0.60 mm マイナスになっていた。これはバンドル管端面の平面度をよくするために削りすぎたのではなく，中心バンドル管製作の時点においてすでに寸法の位置とりの見あやまりから生じたものであった。格子管集合体に組込まれた状態では，内奥端面を加工することは技術的に無理なために加工はせず，今後製作するカランドリアの方で寸法的処理をすることになった。

性能試験の結果， 3×3 バンドル管の挿入引抜性能については引抜力が 40 kg から 70 kg に増加した。これは引出し挿入引抜で固いところがあったために， 3×3 バンドル管の一部修正をした影響がでたものである。

固定側 3×3 バンドル管については，引出しの挿入引抜きがスムーズに出来ないところが1箇所あり，いろいろ手直したがどうしても改善されないことから再製作することになった。新固定側 3×3 バンドル管はこれまでの製作加工の経験から，製作段階で外辺寸法が 165.10 mm に近いものを作った方が，後の加工も容易であること，および，外辺寸法がこの程度であれば，中心軸のずれ，ドップラー引出しの挿入引抜きにも影響がでないという理由から，ホトエッチングした外辺寸法の小さな単格子管を用いて作られた。

工場での製作が終了した後，現地において側面および両端面の加工を行い，性能を確認した結果，引抜力は 13.5 kg ときわめて軽く，引出しの挿入引抜もスムーズであった。

② 総合機能試験 B (荷重条件)

この試験は中心バンドル管上に配列されたバンドル管へ，天然ウランブロックを引出しに入れて装荷し， 3×3 バンドル管の挿入引抜性能および引出し(ドップラー用を含む)の挿入引抜性能を確認するために行われた。Fig. 40-(1)に装荷の状態を示す。

試験の結果， 3×3 バンドル管の引抜力は移動側は 90 kg ，固定側は 20 kg となり，ホトエッチングで製作した固定側の方が性能的に優れているといえる。引出しの挿入引抜きは1本の場合には問題はないが，ブランケット用を連続した2連状態では一部に固いところが見られ，手直しを行った。Fig. 40-(2)にその結果を示す。

2.4.3 51 × 51 格子管集合体組立後の調整および検査

51 × 51 集合体は中心バンドル管の組込調整をしながら、まず移動側から組立てられた。この中心バンドル管は試作品であったが、前述の経過よりそのまま製品として使用されることになり、この時の作業経験をもとに次の固定側が組立てられた。

前節で詳述されているように、締付による集合体のアラインメントと、中心バンドル管開口部の寸法維持とは相反し、両立させることは困難であった。すなわち、締付力を増すとアラインメントは良くなるが、中心バンドル管開口部寸法は小さくなって、3 × 3 バンドル管の挿入が不可能になり、中心バンドル管開口部が所定の寸法を保つ程度に締付力をゆるめると、アラインメントは不揃いになって、バンドル管相互間に段差や間隙を生じた。結局3 × 3 バンドル管を再製作（固定側）または研磨修正（移動側）することにより、アラインメントを維持した状態でも、3 × 3 バンドル管の挿入および引抜きができる程度にすることができた。

締付力については、地震の際バンドル管が集合体から抜け出さないために必要な最少限の値が設計上決められているが、さいわいこの値を満足することが可能であった。参考として締付力の計算を末尾に附してある。

締付トルクに対する締付力は、上部および側部締付金具の構造が異なるため、Fig. 41 に示すごとく異なる。上部締付金具は Fig. 42 に示すごとく、垂直方向に移動するボルトで下方へ直接締付力を与えているのに対し、側部締付金具は、Fig. 43 に示すごとく、横軸ねじの回転によって、水平に移動するくさび状ナットが、テーパ状の金具を押広げることによって水平方向に締付力を与えている。

前端面の仕上げは、目安取り、（適当な間隔で数点を選び、やすりで仕上げ代の深さに切込を入れる）の後、ニューマチック式サンダーで荒仕上げをし、最後にやすりによる手仕上げをした。仕上げはクレーンで吊った定盤で赤あたり（ベアリングレッド）を見て、平面度をチェックしながら行われた。すなわち、定盤を仕上げ面に押付けながら左右に振ることにより、定盤に極く薄く塗ったベアリングレッドを端面にすりつけ、目安が消えるまでに、このすりつけによって赤色になる面積が全体の 60% 以上になるように仕上げが行われた。なおこの作業は放管の協力のもとに、作業中は連続的にダストモニターによる空気汚染のチェックをしながら行われ、かつ防塵マスクおよび防塵眼鏡の着用により、放射線の被曝防止に特に注意が払われた。

格子管集合体の寸法検査は下記項目につき行われた。

- a) 51 × 51 集合体外寸法
- b) 各 1/2 集合体中心軸 のずれ
- c) 前端面の平面度および平行度
- d) 前端面間の間隔寸法
- e) 前端面および後端面における水平および垂直中心軸位置
- f) 前端面と第 1 実験孔との間隔

a), b), d), f) は最終的に必要な寸法であるが、c) および e) は工事を進める上でも必要な検査であり、常に次の工程を進める検討資料として貴重なものであった。

c) は前端面仕上げの良否を知るために必要であると共に、荷重装荷時の倒れ（前端面側に荷重がかたよるため集合体が前のめりに傾くこと）の程度を知る上にも必要な検査である。

またe)は締付によるアラインメントの良否を判断するために必要であると共に、荷重装荷時のテーブルおよび集合体の沈み(荷重によるたわみで、特に中央部で大きい)の程度を知る上にも必要な検査である。

荷重装荷試験は、まず移動側集合体に 32 Ton の燃料を装荷して行った。Fig. 44 に装荷のパターンを示す。

次に移動側、固定側とも 16 Ton ずつに装荷を変更して行った。Fig. 45 に装荷のパターンを示す。

これらの試験においては、上記検査項目(a), f)は除く)の他引出挿入検査を行った。

荷重装荷前の無荷重検査を含め、これらの検査結果を、Table 16 ~ Table 17 および Fig. 46 ~ Fig. 50 に示す。

これらの図表から判るように、無荷重検査の結果はすべて仕様値を満足するものであった。

しかし、固定側の 16 Ton 装荷試験において、Fig. 47 ~ Fig. 48 に示すように、装荷された F・G 列にのみ大きな沈みと倒れを生じ、隣接する E, H 列との間に、肉眼ではっきり見える段差を生じた。5 行より上へ行くに従い、急激に倒れは増大し、特に 3 行より上では軸方向の段差すなわち局部的倒れが顕著に表われた。この段差はバンドル管相互のすべりを意味するもので、無荷重にしても完全に元へ戻らないだろうと推測された。このことを確かめるため Fig. 51 に示すような測定法により、荷重を少しずつ減らしながら戻り量を観察した。Table 18 および Fig. 52 ~ Fig. 53 は推測通りの結果を示している。

すなわち沈みは荷重除去が進むにつれ、ほぼ復元したが、F・E バンドル管および G・H バンドル管の間の段差(倒れ)は 0.3 mm 程度残った。

移動側は 16 Ton 装荷時にも特別な変化はなかった。(Fig. 49) これは固定側のような急激に変化する荷重分布ではないからである。

実用上は固定側に装荷したようなパターンの装荷はありえないが、長期的な燃料装脱の繰返しを考えた場合、バンドル管相互のすべりによる不可逆的な変化が起らないとは言いきれなかった。

締付力は前記のように地震に対しては満足するものの従来の 35 × 35 集合体の場合(200 ~ 250 kg-cm)より低い値であった。締付力を増すことは中心バンドル管の使用を制限することになるのでさしひかえた。

種々の検討の結果(Table 19 参照のこと)固定側、移動側とも後端面において、バンドル管相互を TiG 溶接でつなぐ方法が採用された。Fig. 54 に溶接箇所を示す。溶接後の寸法検査結果は Fig. 55 ~ Fig. 56 に示す。

なおこの作業は、装荷荷重を全部取出したのち行い、作業終了後は次期実験の燃料装荷パターン(VII-1 炉心)に燃料を装荷して、c) e) の測定を行った。

この測定結果から TiG 溶接の効果を判定することは、溶接前後の装荷パターンが異なるので困難であるが、あらかじめ、溶接強度に対する信頼性は充分確認されており、かつ工程を更におくらせることは無意味であるとの判断から、同じ条件での装荷試験は省略されたものである。

2.4.4 テーブル荷重試験

テーブルの寸法的な検査や駆動機構の性能検査は、格子管集合体の解体前と解体後の無荷重時

にも行われているが、荷重装荷時にもこれらの検査を行って、どの程度荷重によって変化し、格子管集合体にどの程度の影響を及ぼすかを知っておく必要があることから、32 Ton 装荷時にはテーブル密着面の平行度、両テーブル間の鉛直方向のずれおよび水平方向のずれ、四隅測定^{*}、およびテーブル駆動機構の性能検査を、また 16 Ton 装荷時には両テーブル間の鉛直方向のずれおよび水平方向のずれ、テーブル面(周縁部のみ)のレベル測定、および四隅測定を行った。

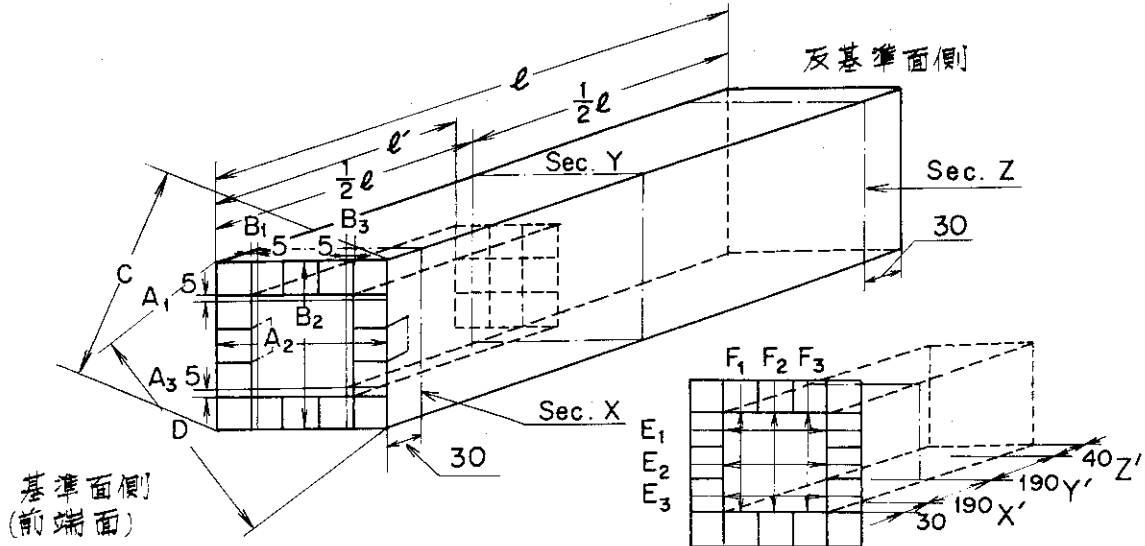
これらの検査結果を Fig. 57 ~ Fig. 59 および Table 20 ~ Table 21 に示してあるが、無荷重時と比較して、移動側テーブルが荷重により固定側より若干鉛直方向にずれていること(Aパターン時で約 0.1 mm)、10 mm 分離時のテーブル密着面平行度が若干悪く、扉側にやゝ開きぎみであること(約 0.8 mm)、Aパターン装荷時におけるテーブル駆動のDC後進スピードが解体前に比較して、やゝ速くなること(2,000 mmで約 0.1 sec)の他は特に有意な変化はなかった。またテーブル密着面平行度の再現性は良好であった。

これらの結果からは、格子管集合体の沈みや倒れに対するテーブルの影響はみられず、テーブル駆動機構も正常であった。

注)

- * 1 Fig. 30 に示すように、固定側および移動側の中心軸高さを、35 × 35 集合体から 51 × 51 集合体になった場合も同じになるようにするためのスペーサー
- * 2 下記に示す実験上の理由より、格子管の質量およびピッチ(アラインメント)を従来通りに維持することが要求された。
 - ① Atomic Density を同じにする。
 - ② 幾可学的に均一にする。
 - ③ 固定側および移動側中心軸のずれを最少にする。
 - ④ 二連引抜機構にそなえ、制安棒取付位置の寸法精度を高める。
- * 3 各 1/2 集合体前端面の平行度は実験に及ぼす影響が大きいため、テーブル密着時に常にこの平行度がチェックできるような測定装置が格子管集合体の密着面側四隅に取付けられている。(詳細は、別章参照のこと)

Table 13 5×5 中心バンドル管寸法



1. 外形断面寸法 $276.0 \pm 0.4 \text{ mm}$ 固定側

	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C	D
Sec. X	276.03	276.63	276.04	276.07	276.40	276.36	389.50	389.20
Y	276.10		276.07	276.08		276.15		
Z	275.86	276.55	275.91	275.89	276.27	275.91	389.60	389.26

2. 内形断面寸法 $165.6 \pm 0.3 \text{ mm}$

	E ₁	E ₂	E ₃	F ₁	F ₂	F ₃
Sec. X'	165.90	165.85	165.85	165.90	165.96	166.25
Y'	165.60	165.35	165.55	165.64	165.70	165.98
Z'	165.63	165.42	165.54	165.68	165.75	165.81

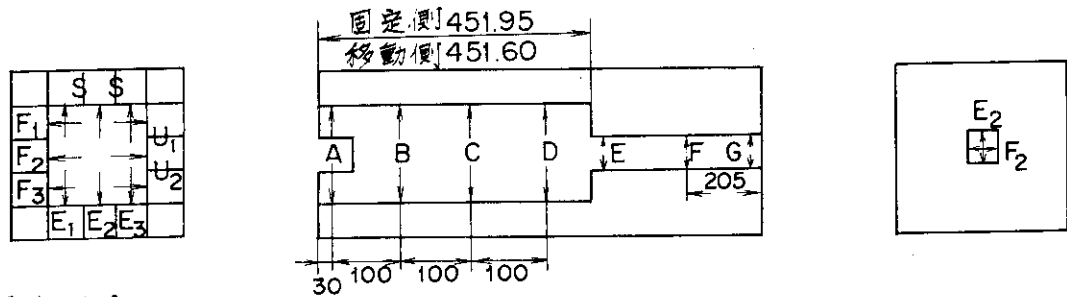
1. 外形断面寸法 $276.0 \pm 0.4 \text{ mm}$ 移動側

	A	A	A	B	B	B	C	D
Sec. X	276.10	276.29	276.07	276.08	275.96	276.14	389.22	389.18
Y	276.10		276.05	276.13		276.13		
Z	275.96	276.07	275.87	275.93	276.20	276.09	389.28	389.32

2. 内形断面寸法 $165.6 \pm 0.3 \text{ mm}$

	E ₁	E ₂	E ₃	F ₁	F ₂	F ₃
Sec. X'	165.96	165.94	165.93	165.94	166.00	165.97
Y'	165.85	165.80	165.79	165.72	165.84	165.80
Z'	165.81	165.73	165.72	165.56	165.84	165.91

Table 14 5×5 中心バンドル管間口部寸法 (無荷重)



固定側

	A	B	C	D	E	F	G
E ₁	165.56	165.30	165.18	165.24			
E ₂	165.33	165.83	165.48	165.50	54.68	54.30	54.98
E ₃	165.56	165.15	165.32	165.38			
F ₁	165.27	165.31	165.19	165.20			
F ₂	165.52	165.35	165.14	165.18	54.80	54.45	55.05
F ₃	165.46	165.21	165.36	165.36			
S ₁	165.20	165.13	165.21	165.28			
S ₂	165.53	165.43	165.55	165.52			
U ₁	165.23	165.15	165.12	165.24			
U ₂	165.20	165.20	165.17	165.21			

移動側

	A	B	C	D	E	F	G
E ₁	165.52	165.14	165.23	165.27			
E ₂	165.61	165.10	165.22	165.24	54.40	54.40	55.0
E ₃	165.41	165.11	165.27	165.36			
F ₁	165.40	165.20	165.25	165.41			
F ₂	165.40	165.12	165.27	165.32	54.80	54.30	54.95
F ₃	165.50	165.20	165.37	165.23			
S ₁	165.38	165.21	165.26	165.34			
S ₂	165.60	165.42	165.50	165.56			
U ₁	165.31	165.16	165.26	165.42			
U ₂	165.28	165.16	165.30	165.39			

測定器

インサイドマイクロ

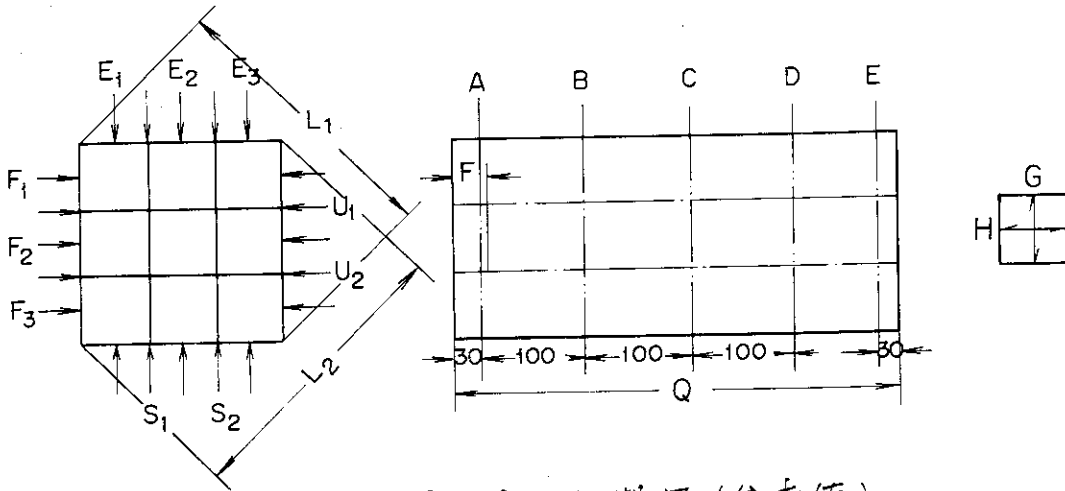
F₁~3, E₁~E₃

S_{1,2} U_{1,2}

シリンダーゲージ

E₂・F₂~E~G

Table 15 3×3 バンドル管外辺寸法



固定側一次製品(参考値)

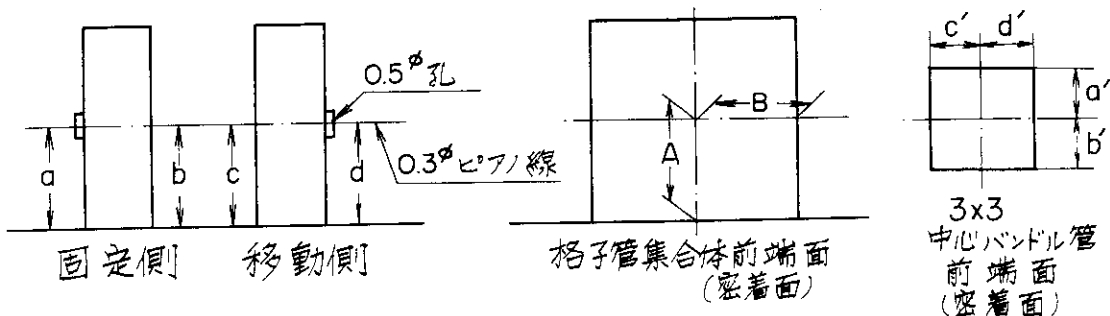
	A	B	C	D	E	F	Q
E ₁	165.18	165.18	165.19	165.26	164.95	50.5	451.95
E ₂	164.95	—	—	—	164.94		
E ₃	165.22	165.15	165.12	165.16	164.88		
F ₁	165.15	165.28	165.28	164.92	164.88		
F ₂	165.15	—	—	—	164.90		
F ₃	165.26	165.20	165.13	165.06	165.11		
S ₁	165.29	165.19	165.18	165.09	165.15		
S ₂	165.27	165.21	165.15	165.15	165.19		
U ₁	165.27	165.20	165.14	165.05	165.12		
U ₂	165.29	165.11	165.11	165.07	165.11		
G	55.40	54.50	54.25	54.80	56.14		
H	55.45	54.60	54.25	54.55	55.80		
L ₁	233.2				233.2		
L ₂	233.4				233.3		

測定器
 アウトマイクロ
 E₁~E₃, F₁~F₃
 S_{1,2} U_{1,2}
 シリンダーゲージ
 G・H
 ノギス L_{1,2}

移動側

	A	B	C	D	E	F	Q
E ₁	165.23	165.07	165.27	165.05	165.22	—	451.60
E ₂	165.15	—	—	—	165.06		
E ₃	165.17	165.26	165.24	165.05	165.13		
F ₁	165.00	165.10	165.01	165.13	165.05		
F ₂	165.07	—	—	—	164.75		
F ₃	165.13	165.07	165.20	165.03	165.00		
S ₁	165.30	165.20	165.16	165.10	165.20		
S ₂	165.34	165.20	165.20	165.19	165.27		
U ₁	165.28	165.10	165.16	165.05	165.15		
U ₂	165.32	165.17	165.11	165.15	165.22		
G	56.18	54.55	54.33	54.50	55.87		
H	56.15	54.49	54.17	54.41	56.09		
L ₁	233.4				233.4		
L ₂	233.4				232.4		

Table 16 1/2 格子管集合体中心軸のズレ測定



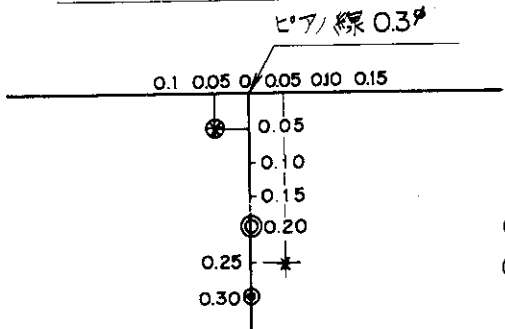
1407.6 ± 0.5 mm

テーブル	固定側				移動側			
	反密着面(a)		密着面(b)		密着面(c)		反密着面(d)	
測定箇所	A	B	A	B	A	B	A	B
無荷重	1407.4	1407.4	1407.4	1407.6	1407.4	1407.6	1407.4	1407.6
16 Ton	1407.0	1407.6	1407.0	1407.6	1407.0	1407.6	1407.0	1407.6

3x3 中心バンドル管					
測定点		a'	b'	c'	d'
固定側	無荷重	27.2	27.8	27.2	27.2
	16T	27.8	28.2	27.7	27.7
移動側	無荷重	27.7	28.2	27.9	28.0
	16T	27.9	28.0	28.0	27.9

中心軸のずれ量および方向

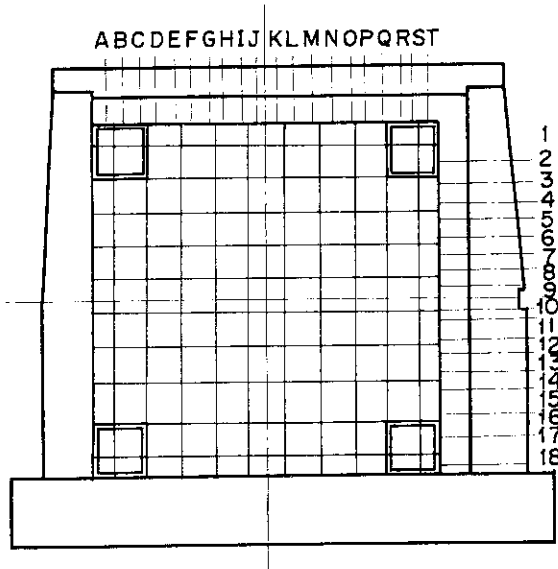
ずれ公差 < 0.5 mm



- * 無荷重 移動側
- ⊙ " " 固定側
- ⊕ 16T 移動側
- ⊗ " " 固定側

Table 17(1)

51×51 格子管集合体締付トルク (最終値)



側部締付トルク

トルク・センチ
(Kg-cm)

締付位置	固定側		移動側	
	密着面側	反密着面側	密着面側	反密着面側
1	90	50	60	80
2	90	50	60	80
3	35	50	40	80
4	35	50	100	50
5	40	40	90	60
6	35	50	50	50
7	50	40	50	60
8	50	40	50	70
9	50	50	40	50
10	35	50	50	50
11	35	100	50	50
12	35	230	40	50
13	40	100	40	100
14	40	130	40	60
15	40	90	50	40
16	40	110	50	70
17	60	200	100	70
18	70	250	100	70

Table 17(2) 51×51 格子管集合体締付トルク (最終値)

トルクレンチ
(Kg-cm)

上部締付トルク

位置	固定側		移動側	
	密着面側	反密着面側	密着面側	反密着面側
A	190	190	190	135
B	110	135	135	160
C	80	190	160	190
D	135	80	80	110
E	135	110	80	135
F	135	80	80	80
G	80	270	80	80
H	385	80	80	80
I	80	350	80	110
J	190	80	80	110
K	80	135	270	110
L	80	80	80	130
M	80	160	385	80
N	135	110	80	300
O	80	80	325	80
P	190	80	80	80
Q	80	160	80	80
R	160	135	80	270
S	110	135	160	135
T	110	220	80	190

注) 上部締付棒中央部の締付トルクは全部 80 Kg-cm である。

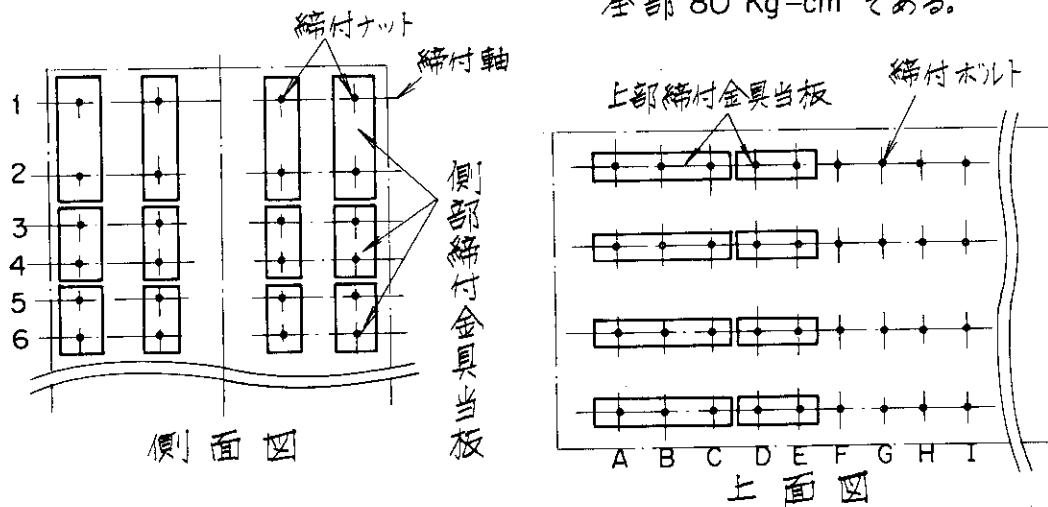
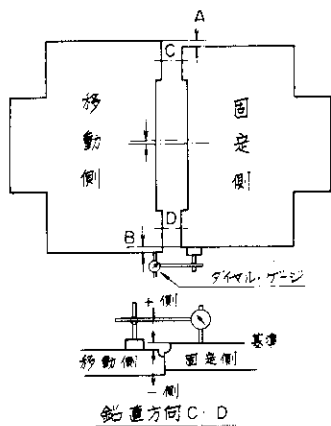


Table 18 端面溶接についての比較検討

	ずれ・沈み等の影響			柔軟性	作業による局所的変形	作業量	格子管集合体解体時の難易
	沈み	全体的セリ出し	部分部材出し				
溶接なし	現状	現状	現状	大	なし	—	易
後端面のみ TIG	ほぼ現状 前後不均等	ほぼ現状	なし	前端面側大 後端面側小	小	小	やや難
前後端面 TIG-TIG (前) (後)	現状より小 前後均等	現状より小	なし	小	大	大	難
前後端面 Spot-TIG (前) (後)	同上	同上	なし	小	大	大	きわめて難

Table 19 密着時のテーブル水平方向, 鉛直方向のずれ
(格子管集合体組立後無荷重)



注) 測定値は固定側を基準とし、
外側または上側を+側とする

水平方向のずれ

中心線のずれ

$$\frac{A+B}{2} < 0.05\text{mm}$$

回数	測定	A	B	中心線のずれ
1 回目		+0.175	-0.13	0.0225
2 回目		+0.16	-0.13	0.015

鉛直方向のずれ

回数	測定	C	D
1 回目		+0.04	-0.01
2 回目		+0.04	-0.01

Table 20 密着時のテーブル水平方向, 鉛直方向のずれ
(Aパターン, Bパターン荷重時)

水平方向のずれ (Aパターン)

回数	測定		中心軸のずれ
	A	B	
1回目	+0.13	-0.17	-0.02
2回目	+0.15	-0.17	-0.01

中心軸のずれ
 $\frac{A+B}{2} < 0.05\text{mm}$

鉛直方向のずれ

Aパターン

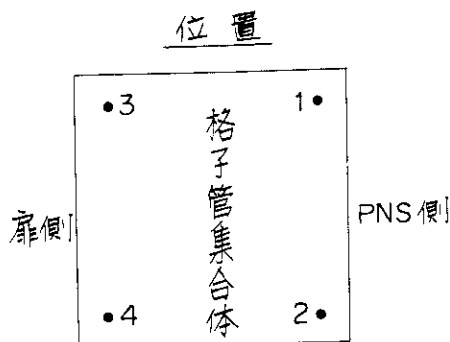
回数	測定	
	C	D
1回目	-0.10	-0.11
2回目	-0.09	-0.13

Bパターン

回数	測定	
	C	D
1回目	-0.03	-0.02
2回目	-0.03	-0.02

注) 測定方法は Table 8 に同じ

テーブル密着時4隅測定



Aパターン

位置	測定値 0.5mm レンジ
1	-0.284
2	+0.004
3	-0.265
4	+0.011

Bパターン

位置	測定値 0.5mm レンジ
1	-0.138
2	+0.005
3	-0.095
4	+0.002

Table 21(1) テーブル駆動装置性能検査 (Aパターン荷重時)

(1) リミットスイッチによる移動テーブル停止位置

		位置表示器の指示値(mm)
前進	高速	501.8
	中速	99.9
	低速	0.1
後進	交流	1999.3
	直流	1999.3

注) PT-3系による測定

(2) 移動テーブル走行時間

a. 前進高速

位置(mm)	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
時間(min-Sec)	0	48.5	1-36	2-23.5	3-10.5	3-58	4-45

b. 前進中速

位置(mm)	500	400	300	200	100
時間(min-Sec)	0	39	1-17	1-54.5	2-32.3

c. 前進低速

位置(mm)	100	75	50	25	0
時間(min-Sec)	0	1-36.5	3-13	4-49	6-25

d. 後進交流・直流

位置(mm)	0	500	1000	1500	2000	
時間(min-Sec)	0	39.2	1-17	1-54.8	2-32	交流
時間(min-Sec)	0	33	1-04.8	1-36.5	2-08.2	直流

Table 21(2)

(3) 移動テーブル加速性能(オシロより)

駆動種類	前進高速	前進中速	前進低速	後進交流
加速時間(sec)	2.10	0.82	0.27	1.84

(4) 移動テーブル停止性能(オシロより)

駆動種類	前進高速	前進中速	前進低速	後進交流
停止時間(sec)	0.233	0.153	0.128	0.666
停止距離(mm)	0.942	0.331	0.028	6.375

(5) 移動テーブル隋性能(オシロより)

駆動種類	前進高速	前進中速	前進低速	後進交流
停止時間(sec)	0.379	0.27	0.479	10.69
停止距離(mm)	1.48	0.575	0.068	65.557

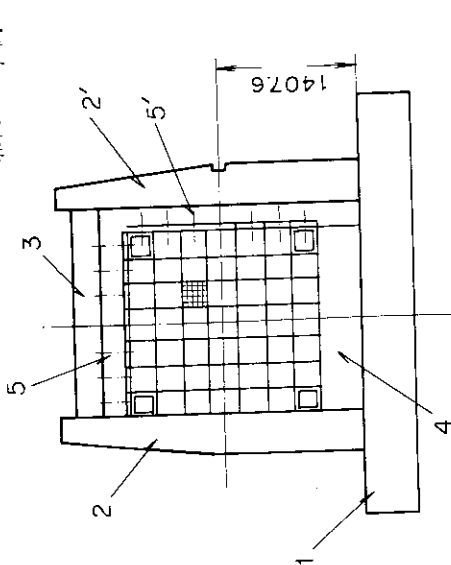
(6) スクラム試験(オシロより)

スクラム状態	密着面より10 sec間		前進中より10 sec間		
	交流後進	直流後進	高速	中速	低速
移動距離(mm)	128.2	143.7	127.3	127.7	128.6

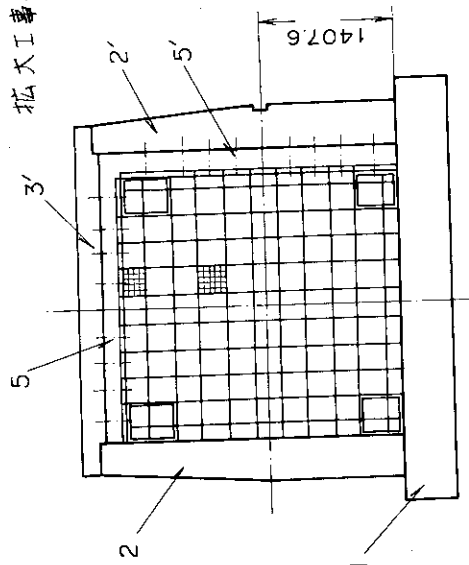
(7) テーブル駆動装置容量試験

名称		電圧(V)	電流(A)
前進	高中速 高速時	202	3.30 ~ 3.28
	モータ 中速時	202	4.95
	低速モータ	205	1.58
後進	交流モータ	202	12.1 ~ 11.6
	直流モータ	110.0	36.0 ~ 29.7

拡大工事前 (35x35)



拡大工事後 (51x51)



- 1: チューブ
- 2, 2': 傾斜部締付材
- 3, 3': 上部締付材
- 4: ペDESTAL
- 5, 5': 締付金具

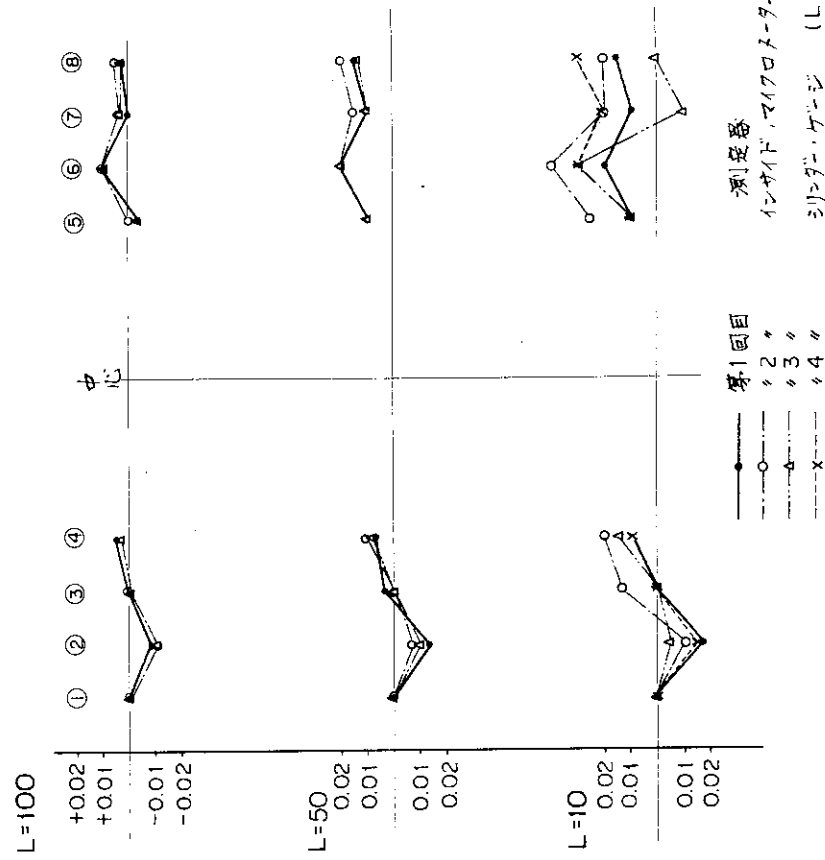
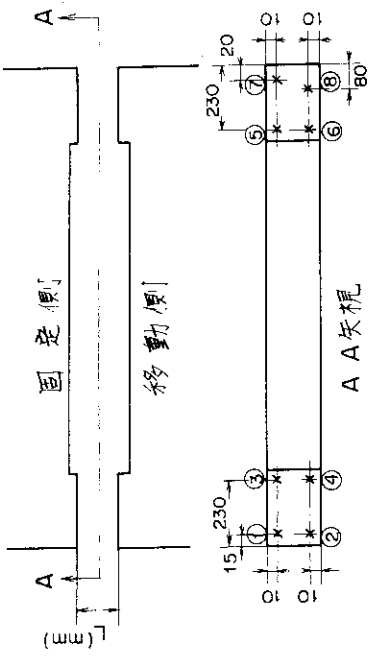


Fig. 31 解体後無荷重時のチューブ密着面平行度

Fig. 30 新旧格子管集合体の比較

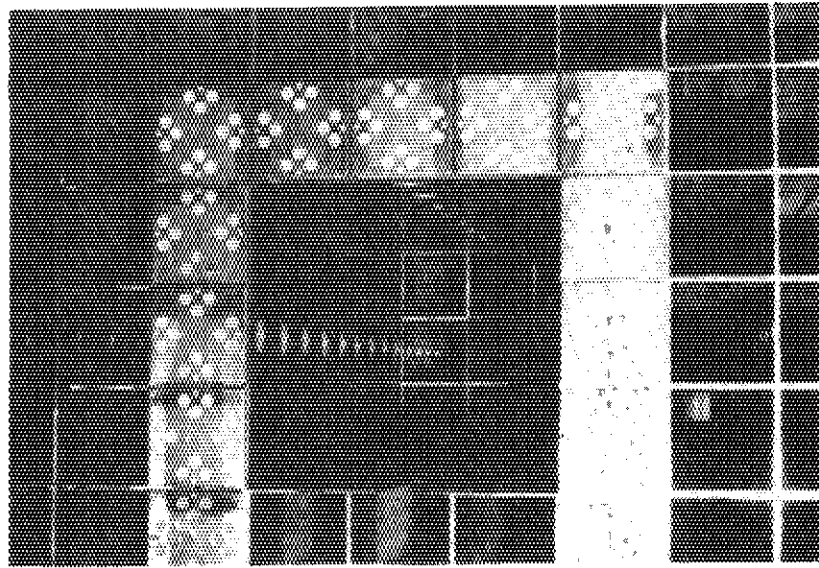
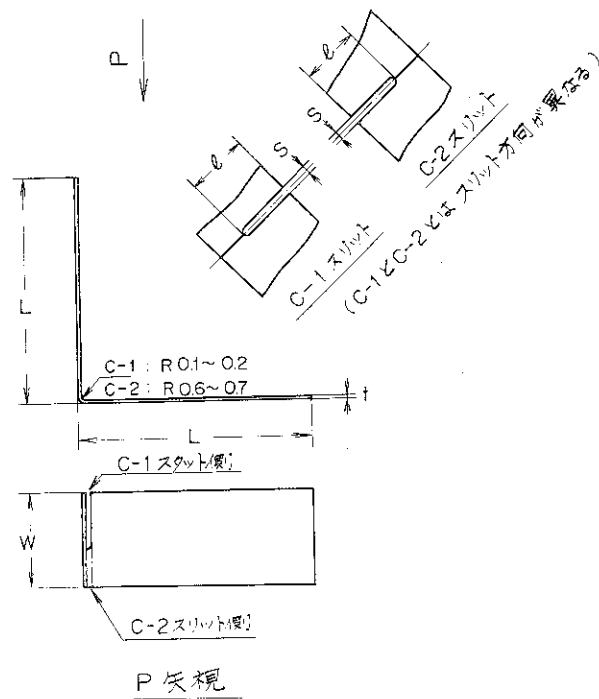


Fig. 32 中心バンドル管



	L	W	t	l	S	材質
C-1	27	20	0.2	13	2	SUS 304
C-2	54	20	0.2	13	2	SUS 304

Fig. 33 ライナー寸法図

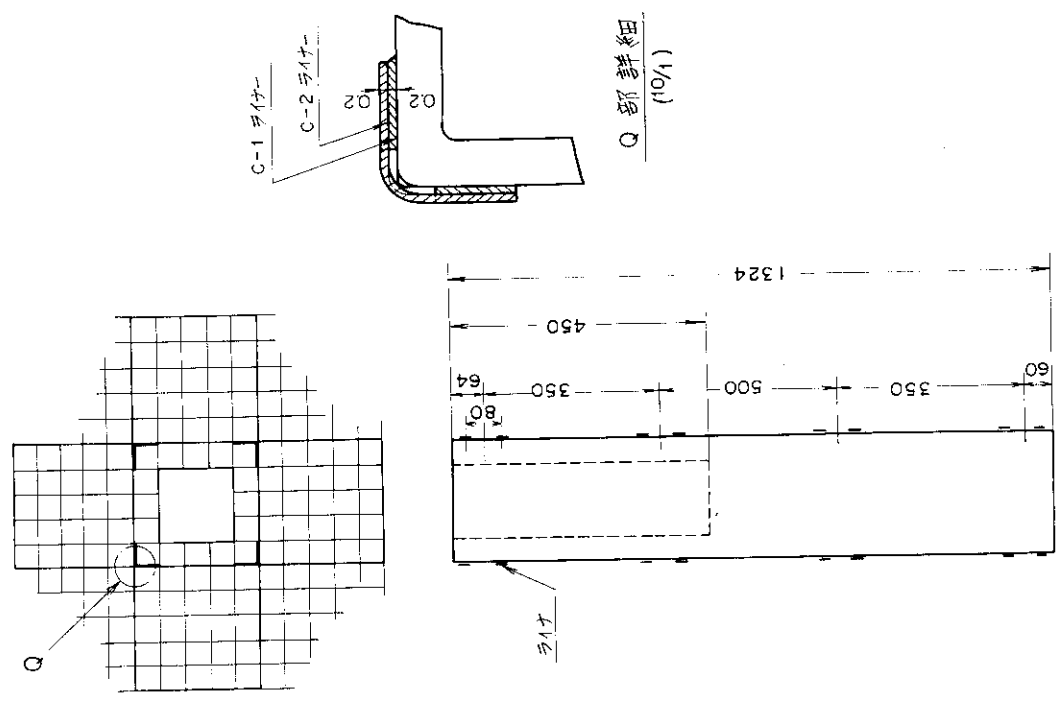
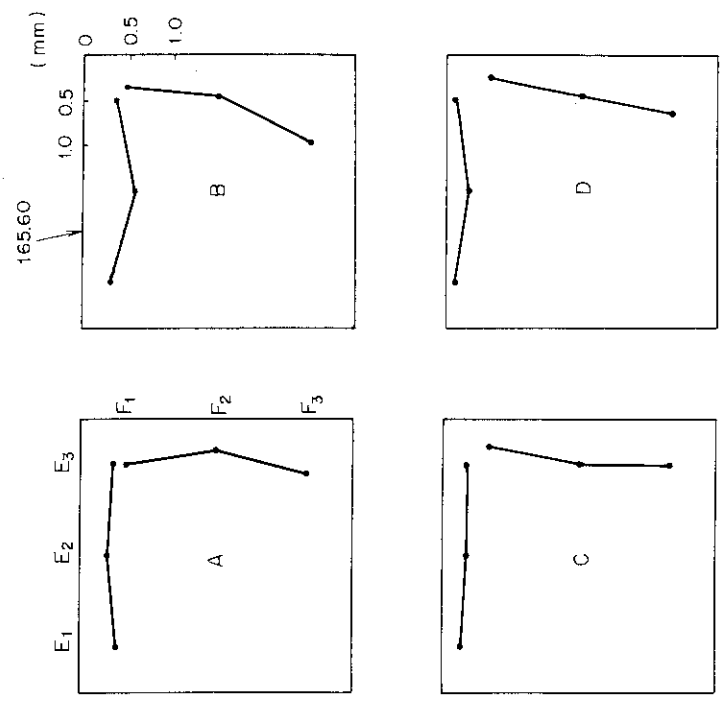
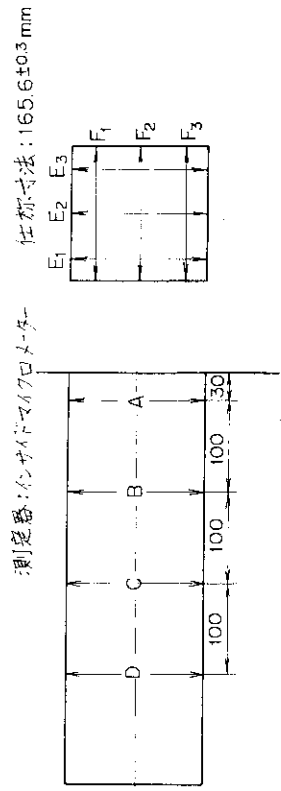
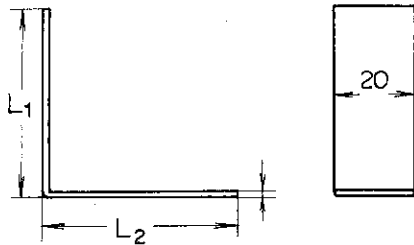


Fig. 35 移動側 3×3 開口部寸法 (0.4 mm ライナー挿入時)

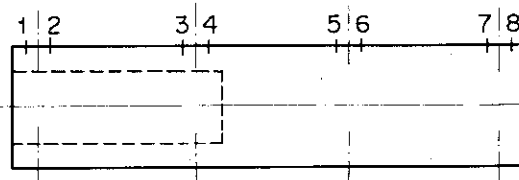
Fig. 34 ライナー 配置図



	$L_1 \times L_2$
C-3	35 x 54
C-4	54 x 54

注) スリットは C-1 または C-2 と同じ

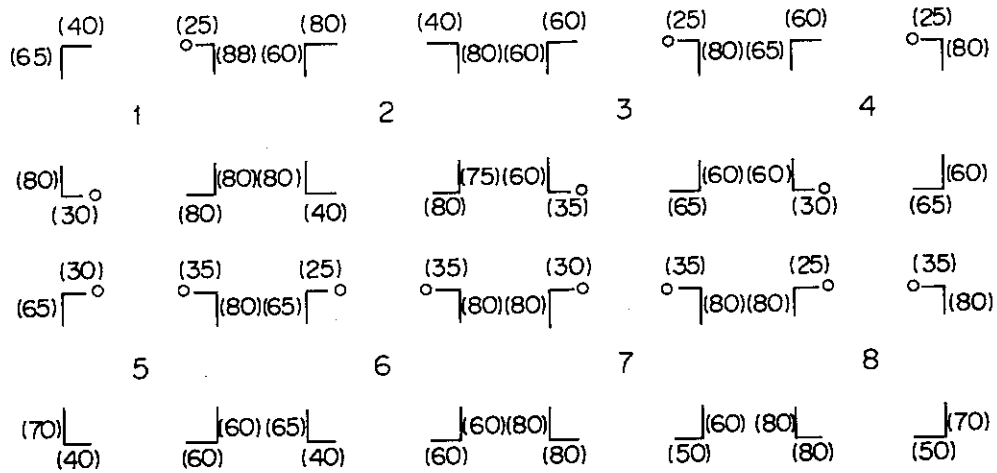
ライナー配置図



使用ライナー : (イ) C-1 (0.2 x 20 x 27 x 27) ----- 全コーナー
 内側
 C-3 (0.3 x 20 x 35 x 54) ----- 外側
 C-4 (0.3 x 20 x 54 x 54) ----- 外側

(ロ) ()内数値は0.3 キャンプゲージが入る長さ

(ハ) ○印 35 mm } 0.3 ライナー長さ
 無印 54 mm }



注) 0.3 mm キャンプゲージが入る長さを測定してライナーの組合せを決定した。

Fig. 36 ライナー寸法および配置図固定

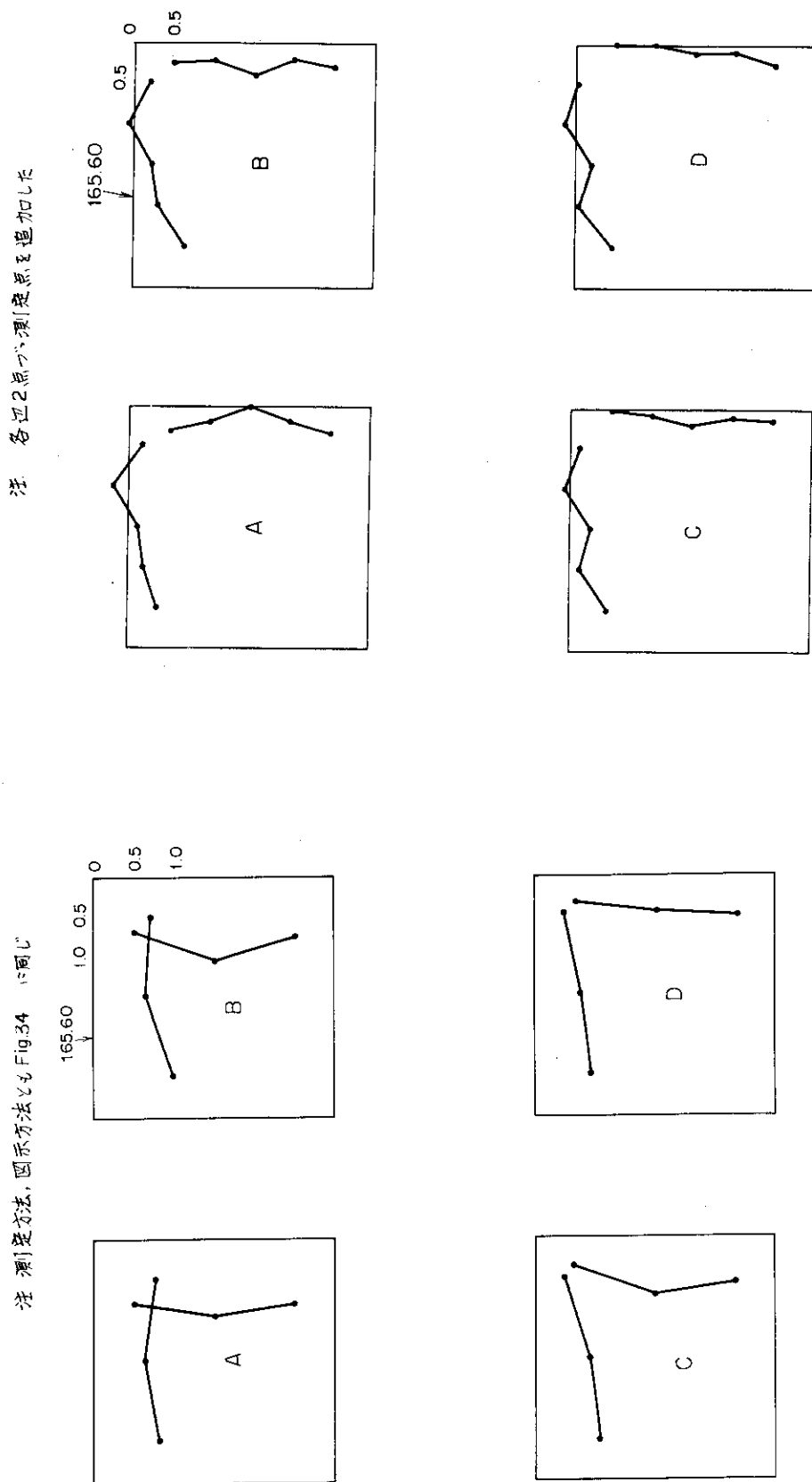


Fig. 37 移動側 3×3 開口部寸法 (0.5 mm ライナー挿入時)

Fig. 38 移動側 3×3 開口部寸法 (最終縮付調整後)

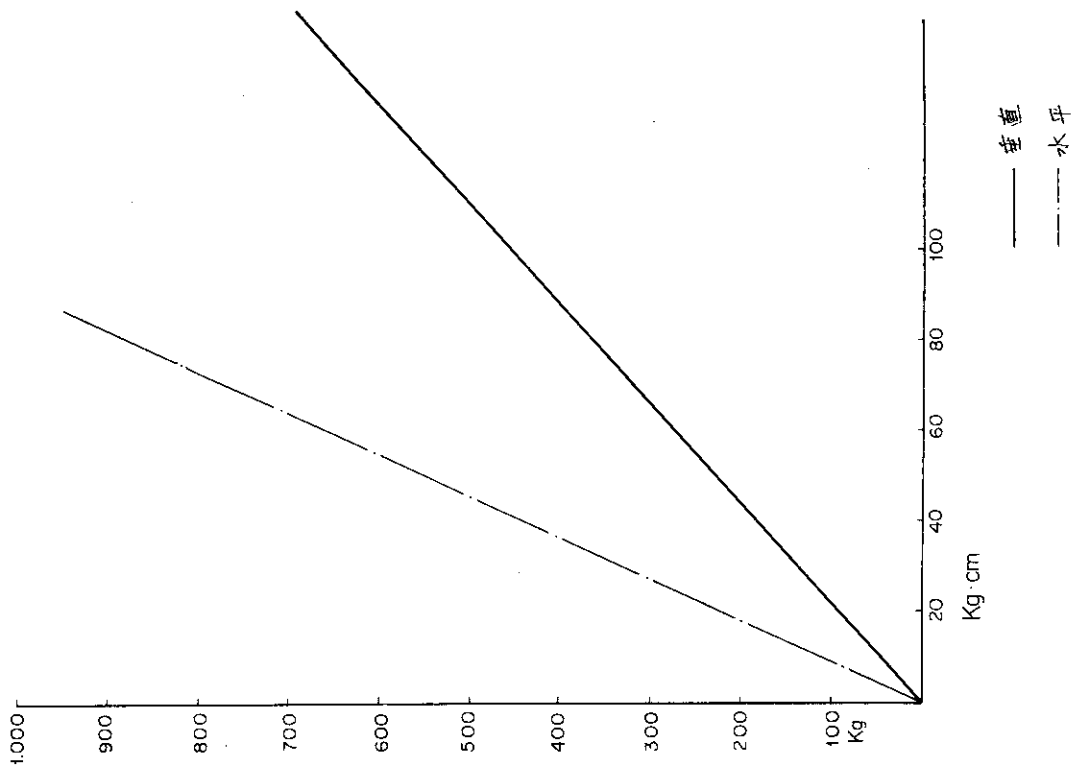


Fig. 41 締付力-締付トルク換算図

- 注 1. 各辺2点ずつ測定点を追加した
 2. A部 F_2 点は短格子管用切欠の木の測定不能

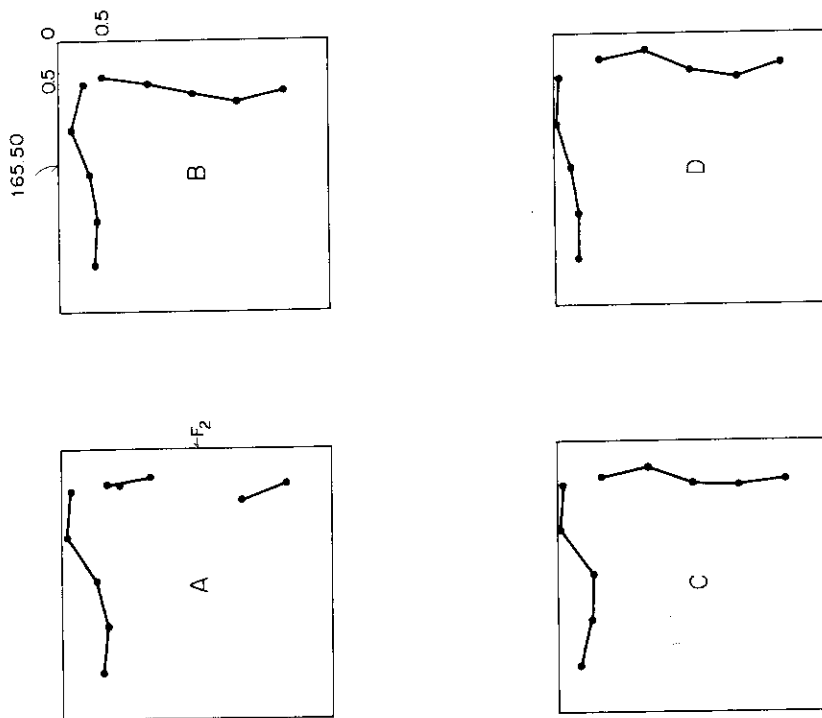
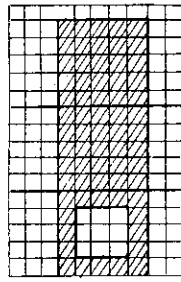


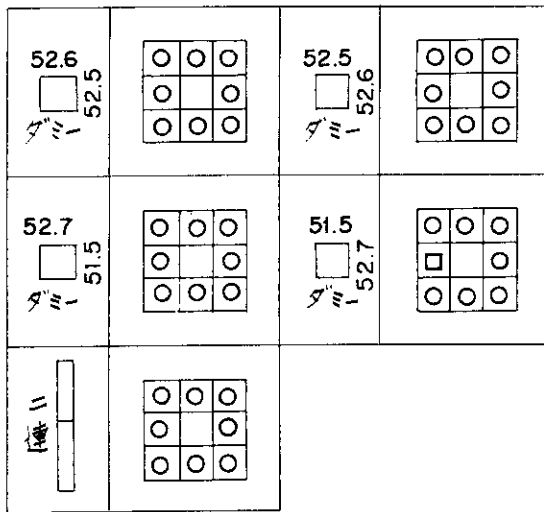
Fig. 39 固定側 3×3 開口部寸法 (最終締付調整後)



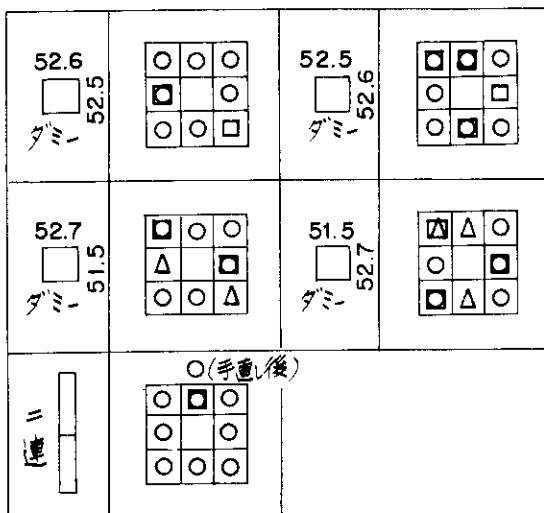
引出L63 本(32kg/1本)

荷重 上部 1.6 Ton (32kg x 50)

Fig. 40-(1) 中心 3×3 バンドル管引抜き試験装荷状態図



固定側



移動側

注)

記号

○ スムーズ

□ (○と□の間)

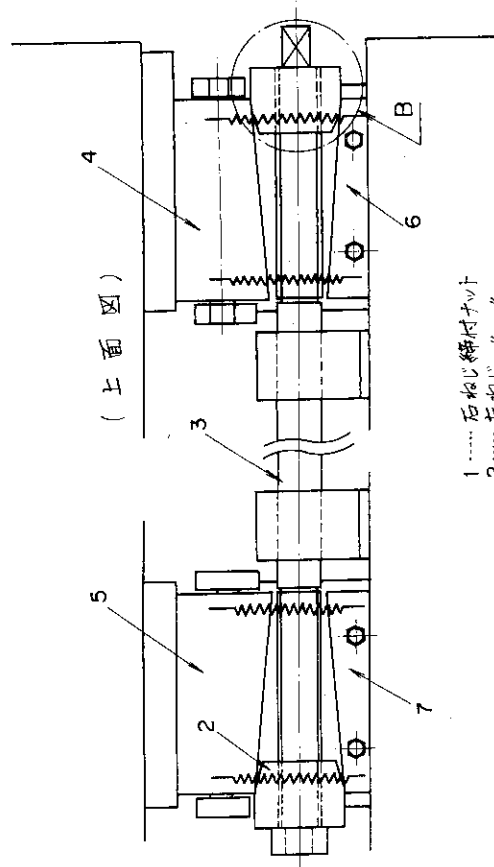
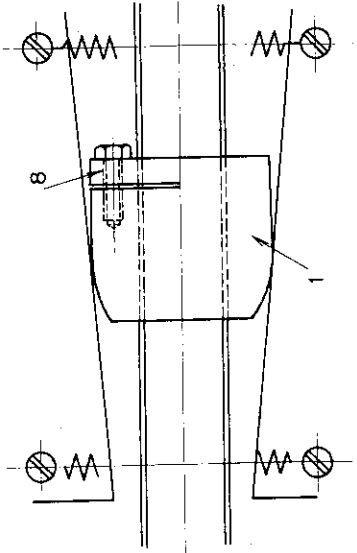
□ 少々かたい

□△ (□と△の間)

△ 非常にかたい

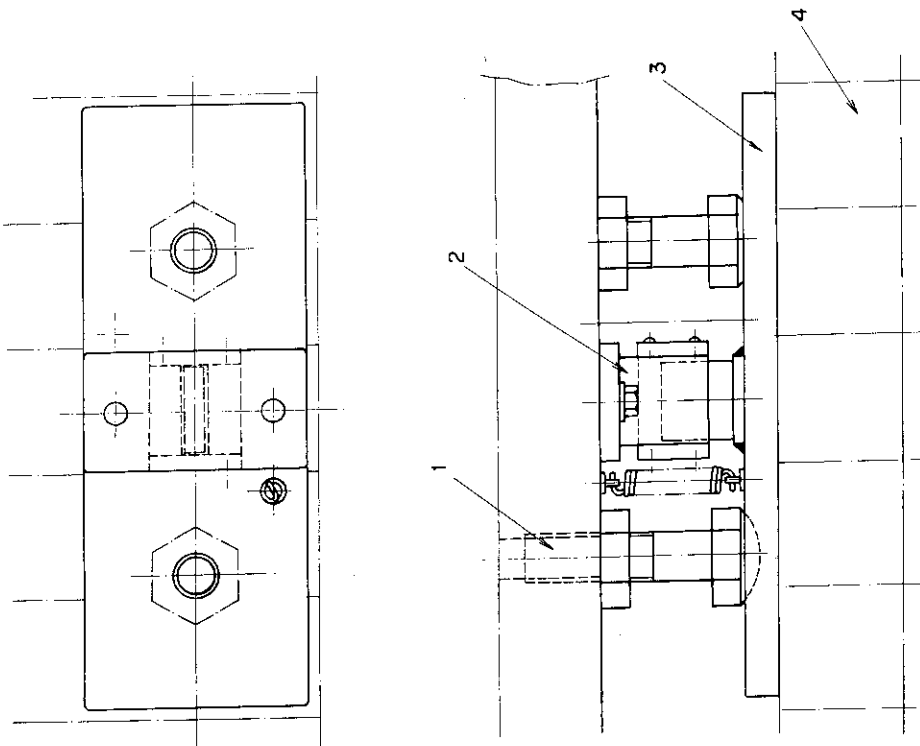
Fig. 40-(2) 中心 3×3 バンドル管 引出挿入検査記録

B部詳細 (尺度 1/1)



- 1 右側止り
- 2 左側止り
- 3 締付軸
- 4, 5 当接
- 6, 7 支文板
- 8 面止り

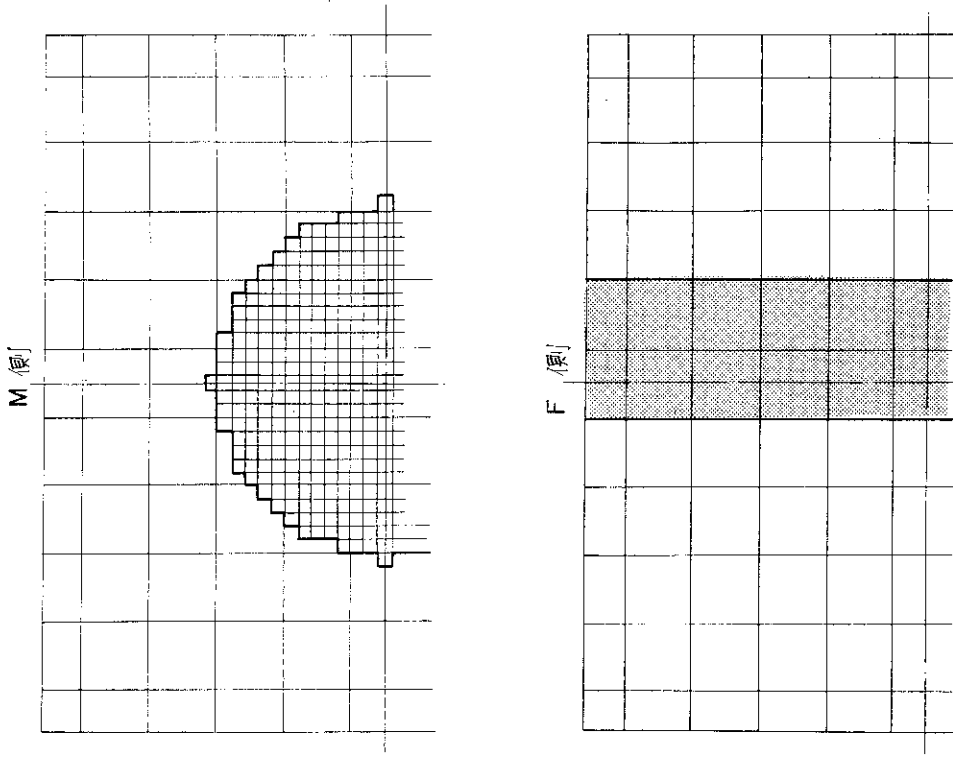
Fig. 43 側部締付金具



- 1 ボルト
- 2 支文軸
- 3 当接
- 4 締付管

Fig. 42 上部締付金具

B パターン 集中荷重 M 側 16 Ton F 側 16 Ton



A パターン 分布荷重 32 Ton (M 側のみ)

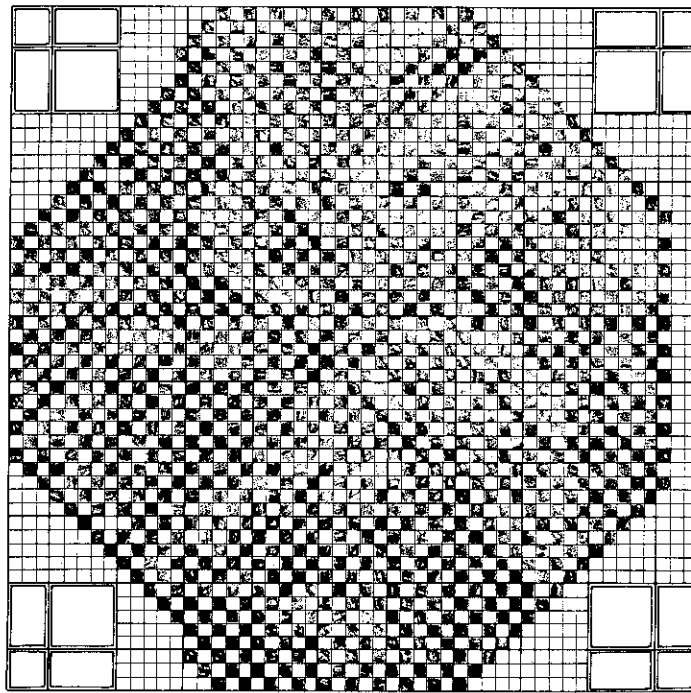
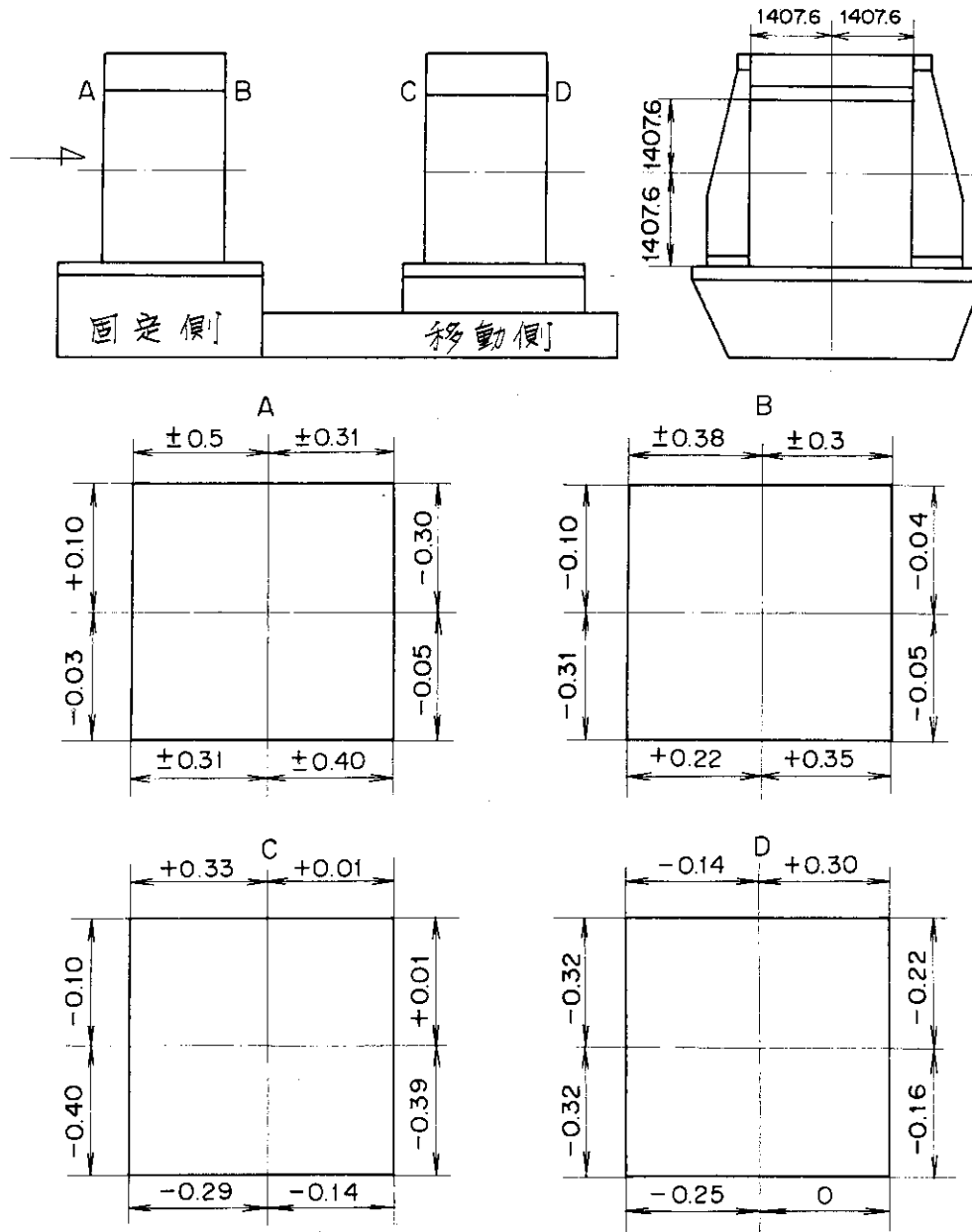


Fig. 44 荷重試験装荷状態図

注) 上下対称になっているので上半分のみ図示した。

Fig. 45 荷重試験装荷状態図



測定器 インサイドマイクロ 目盛1/100mm 仕称寸法:

Fig. 46 51×51 格子管集合体外辺の寸法 (無荷重)

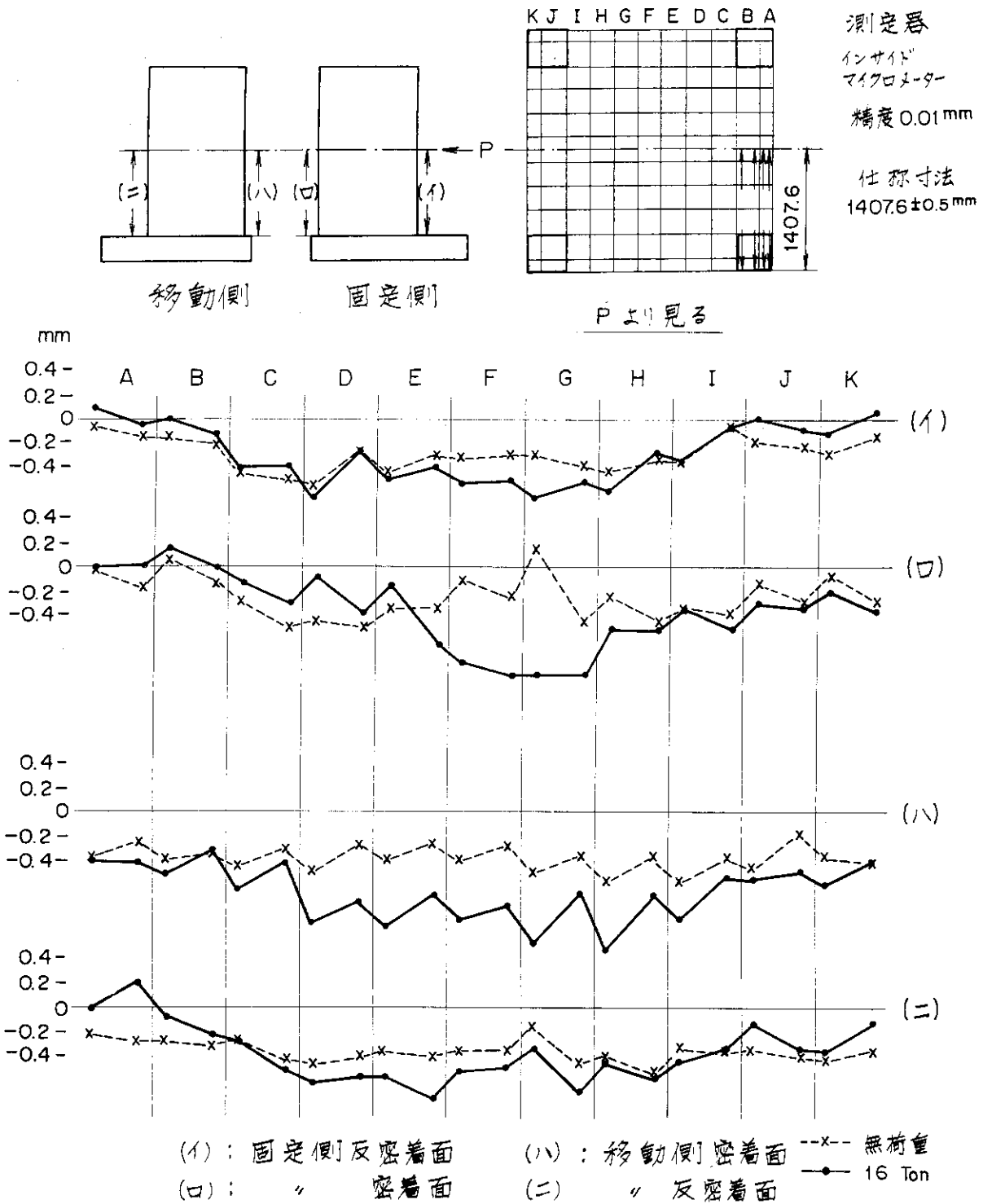


Fig. 47 水平中心軸位置(沈み)測定

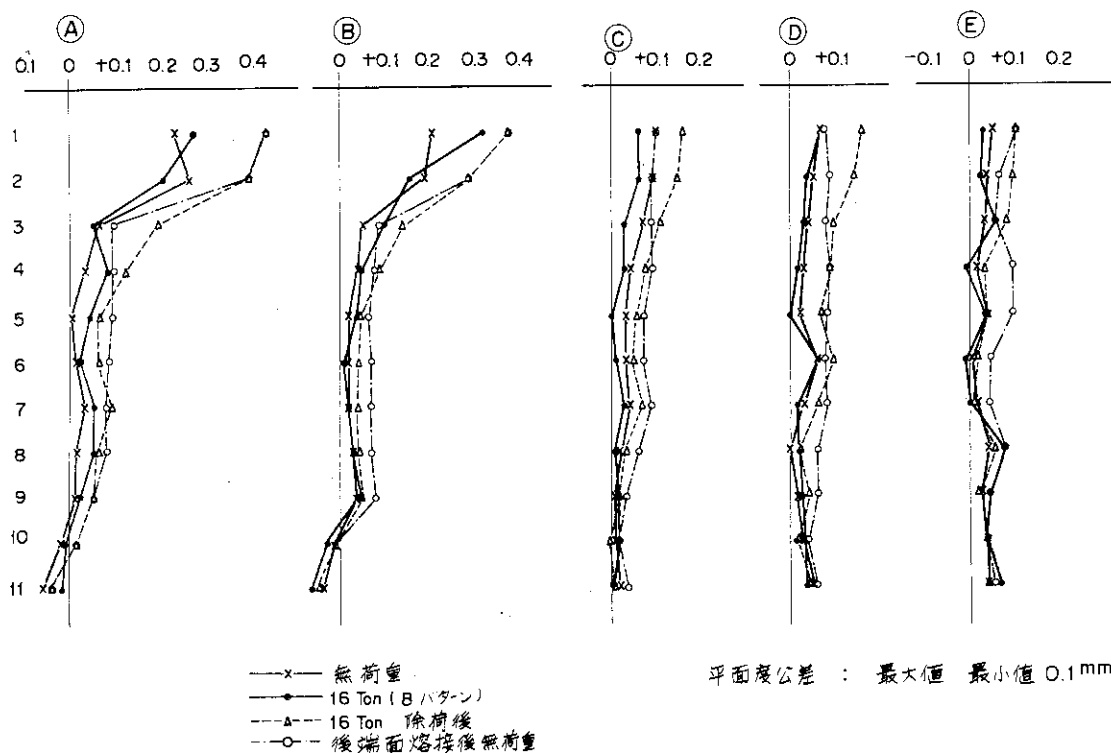


Fig. 48(1) 固定側前端面平面度

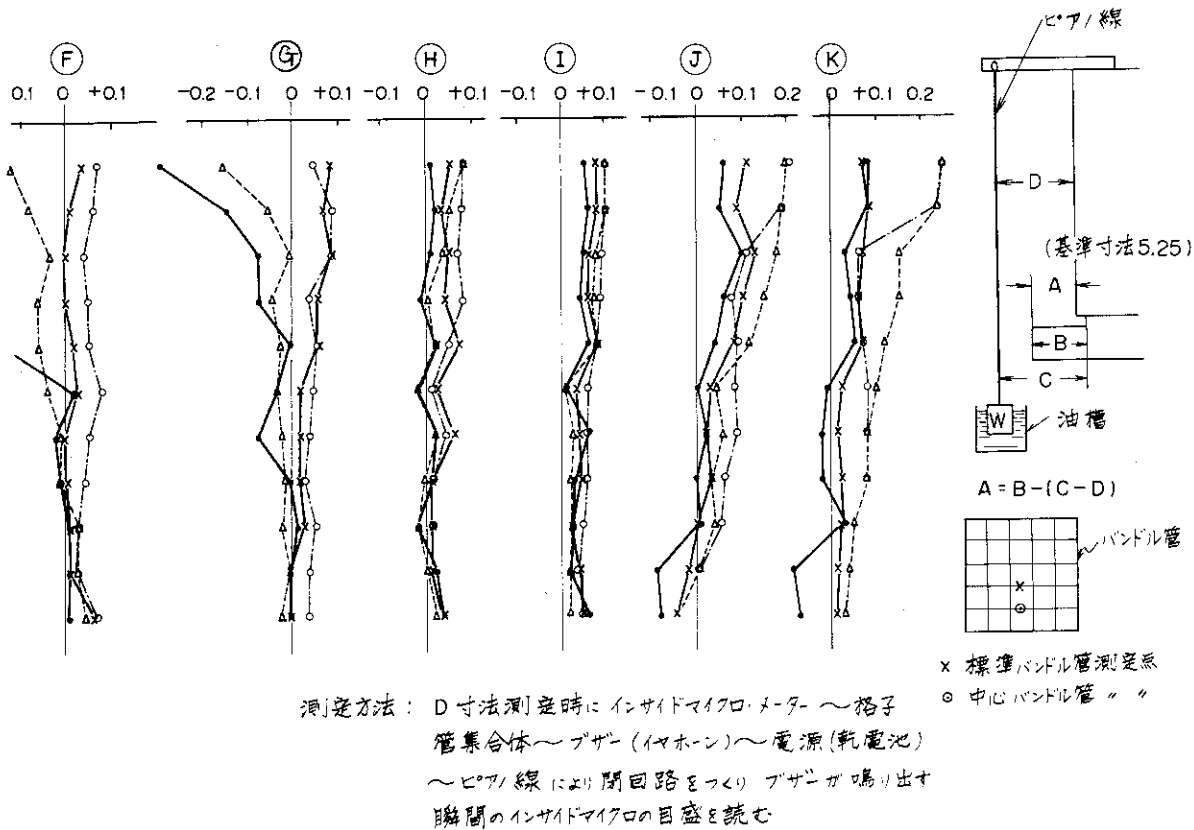


Fig. 48(2)

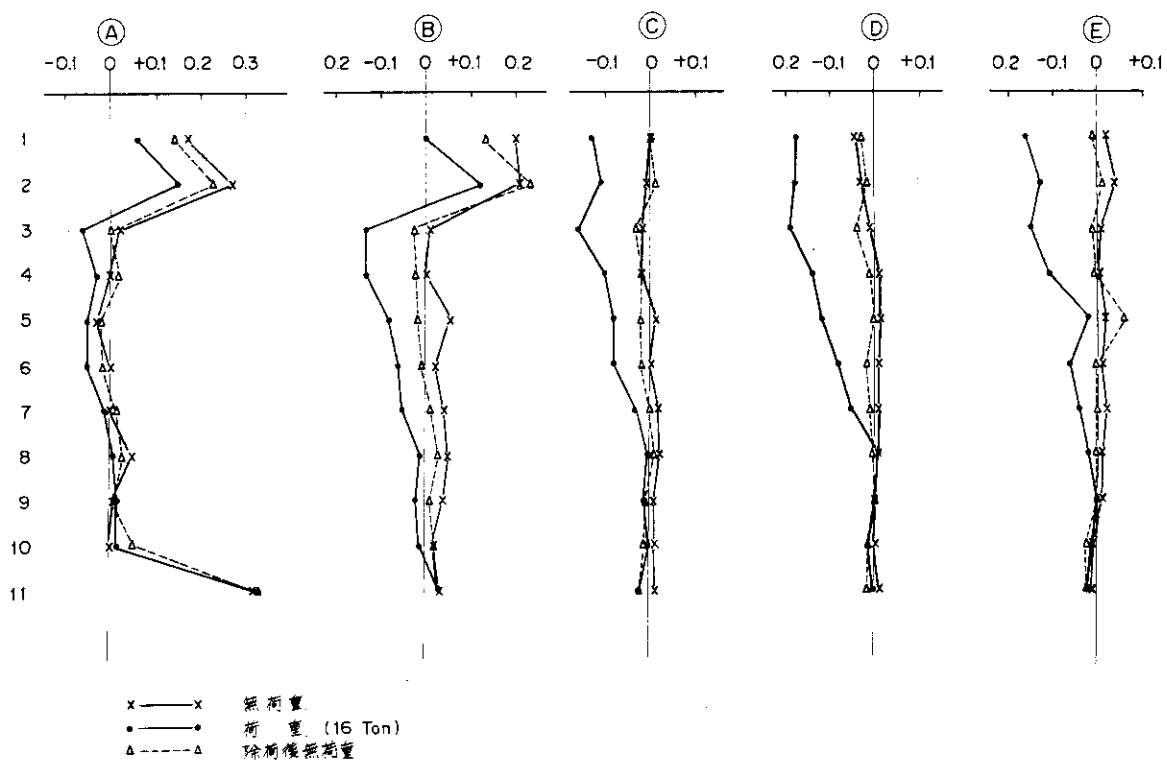
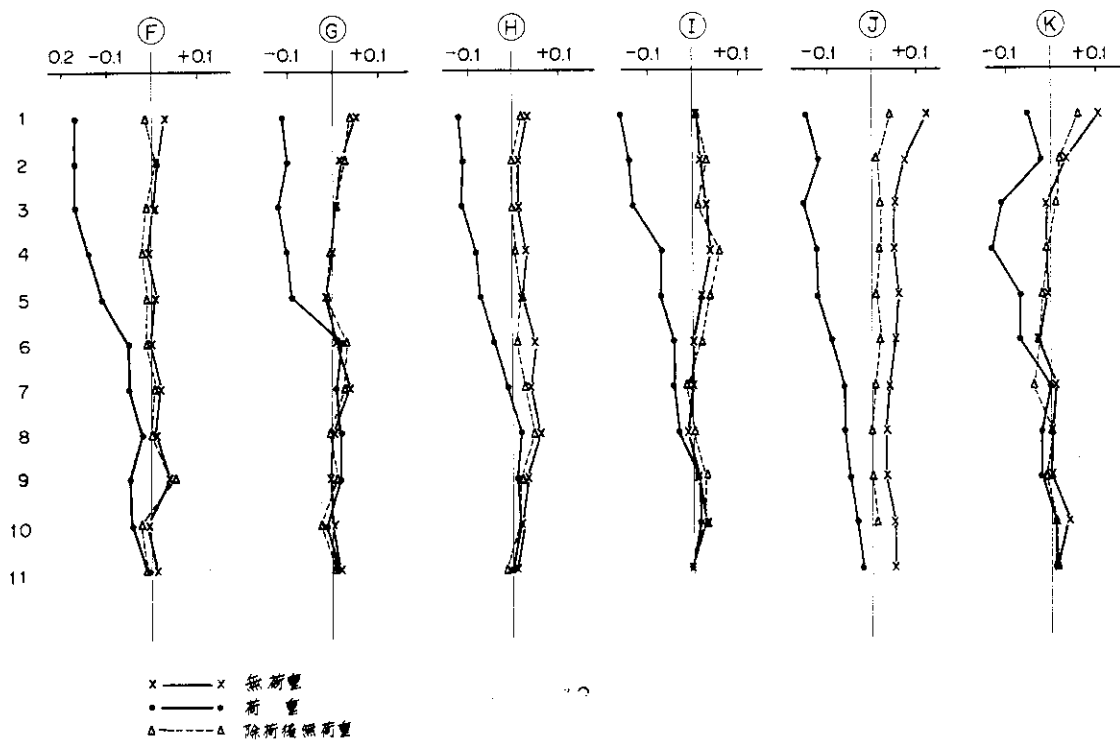
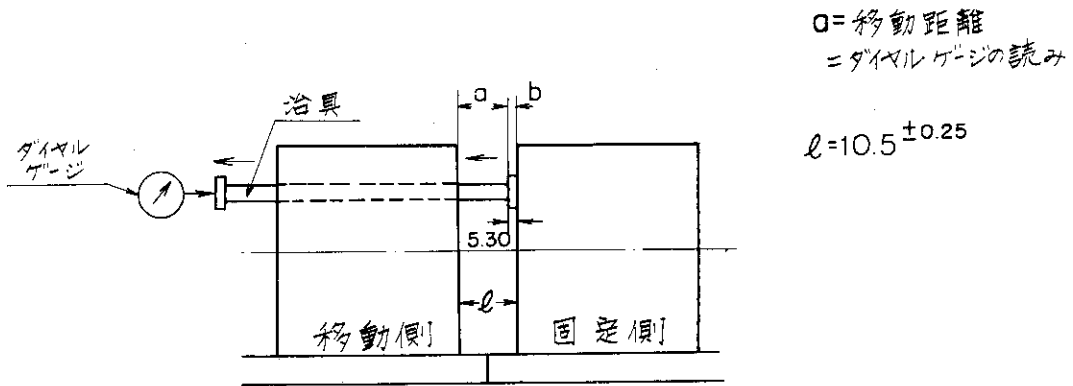


Fig. 49(1) 移動側前端面平面度



注) 測定方法は Fig. 48 に同じ

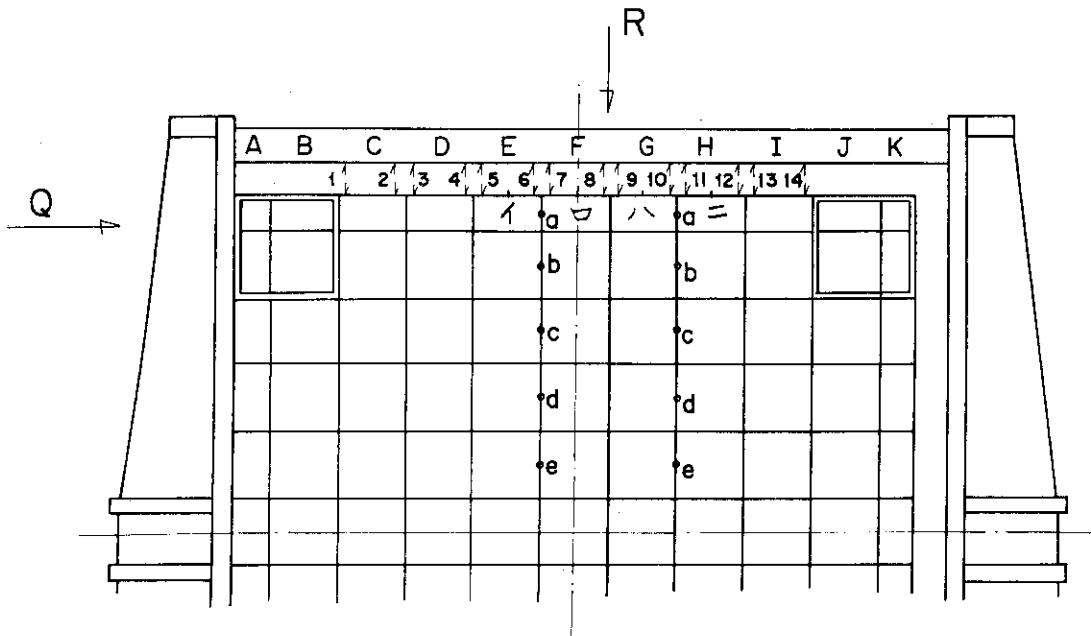
Fig. 49(2)



注) 下表の数値は無荷重時の寸法
 ただし()内数値は16 Ton (Bパターン)装荷時の寸法

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1			10.42 ^o			(10.11) 10.41 ^o	(10.09) ^o		10.40 ^o		
2				10.52 ^o		(10.13) ^o		10.49 ^o			
3		10.56 ^o								10.56 ^o	
4				10.51 ^o		10.44 ^o		10.53 ^o			
5					10.41 ^o						
6		10.47 ^o		10.51 ^o		10.61 ^o		10.50 ^o		10.51 ^o	
7					10.48 ^o						
8				10.51 ^o		10.46 ^o		10.51 ^o			
9		10.51 ^o								10.59 ^o	
10				10.42 ^o				10.43 ^o			
11			10.40 ^o			10.53 ^o			10.43 ^o		

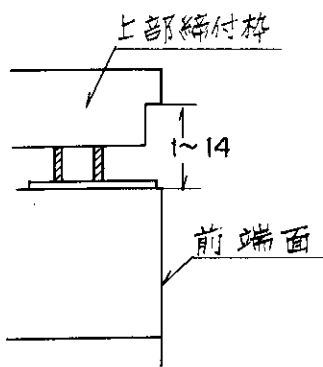
Fig. 50 前端面間隔寸法測定



測定法

①

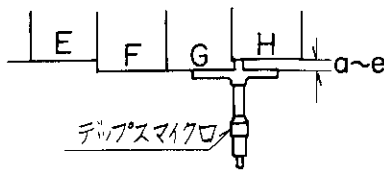
測尺 1~16
測定器 ノギス



Qより見る

②

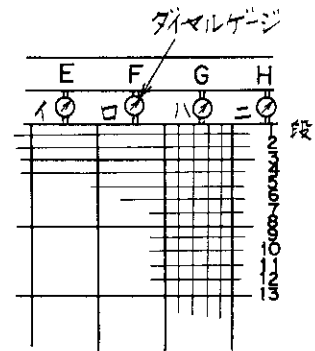
測尺 a~e
測定器 デップスマイクロ



Rより見る

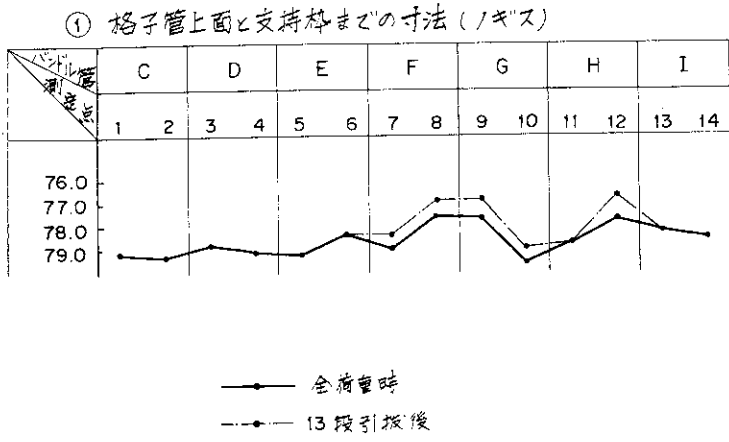
③

測尺 イ~ニ
測定器 ダイアルゲージ



密着面側より見る

Fig. 51 倒れ沈み戻り量の測定方法



② 前端面のずれ (デップスマイクロ)

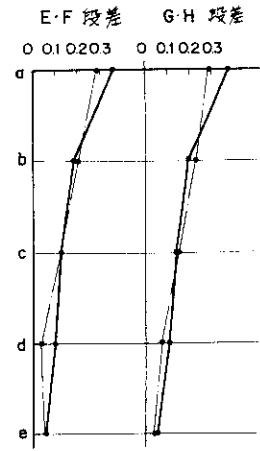


Fig. 52 荷重引抜きにともなう沈み倒れの戻り量

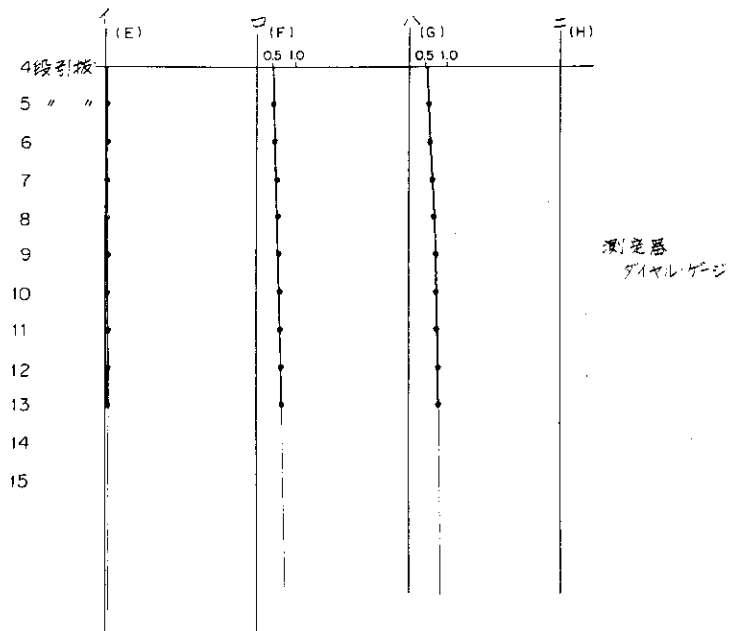


Fig. 53 ③ 荷重引抜きにともなう沈みの戻り量

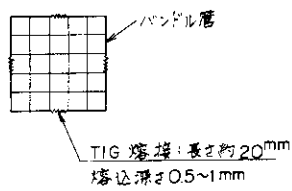


Fig. 54 TIG 溶接位置

注) 測定方法は Fig. 18 に同じ

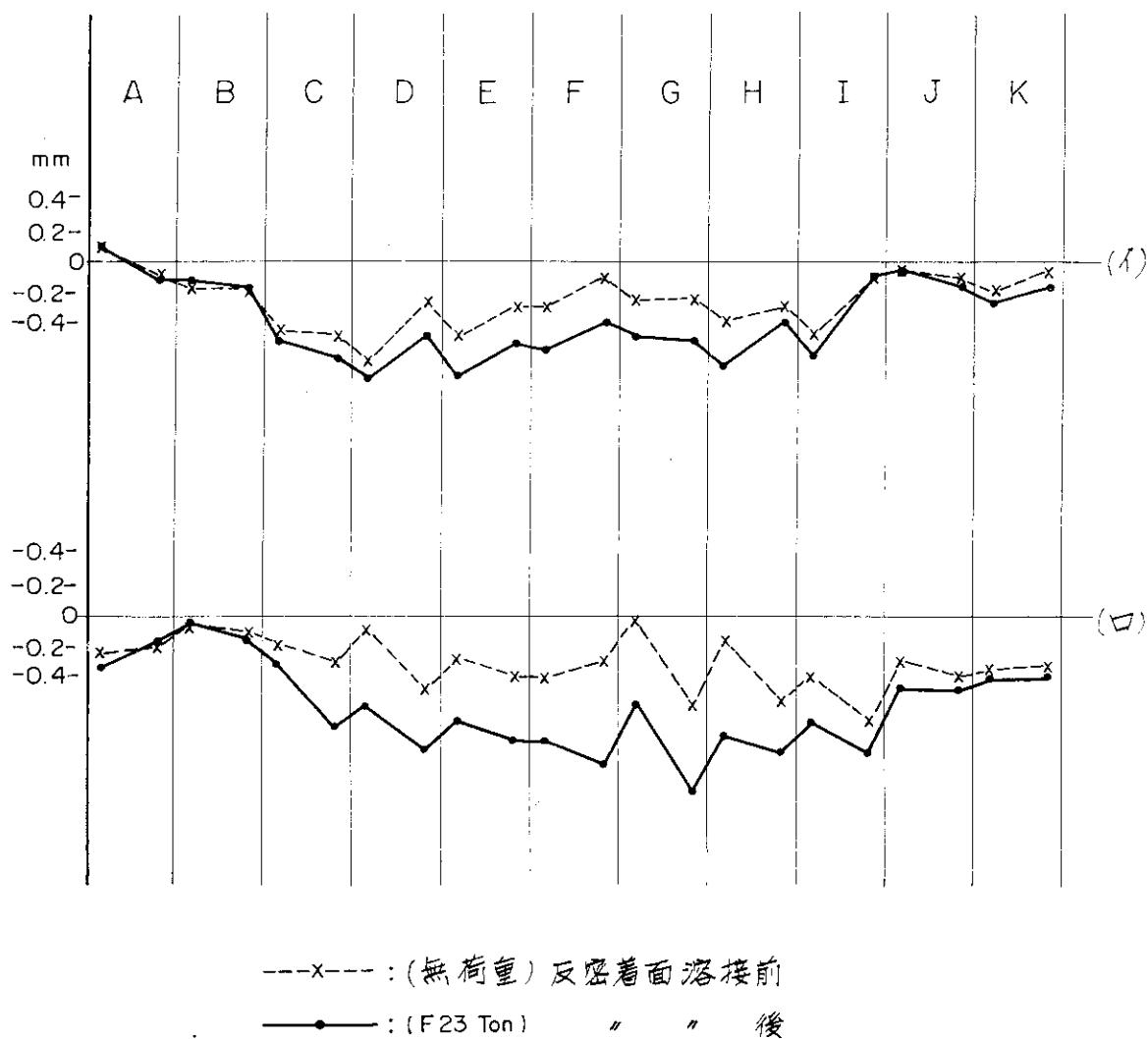


Fig. 55 最終状態における水平中心軸位置 (沈み) 測定

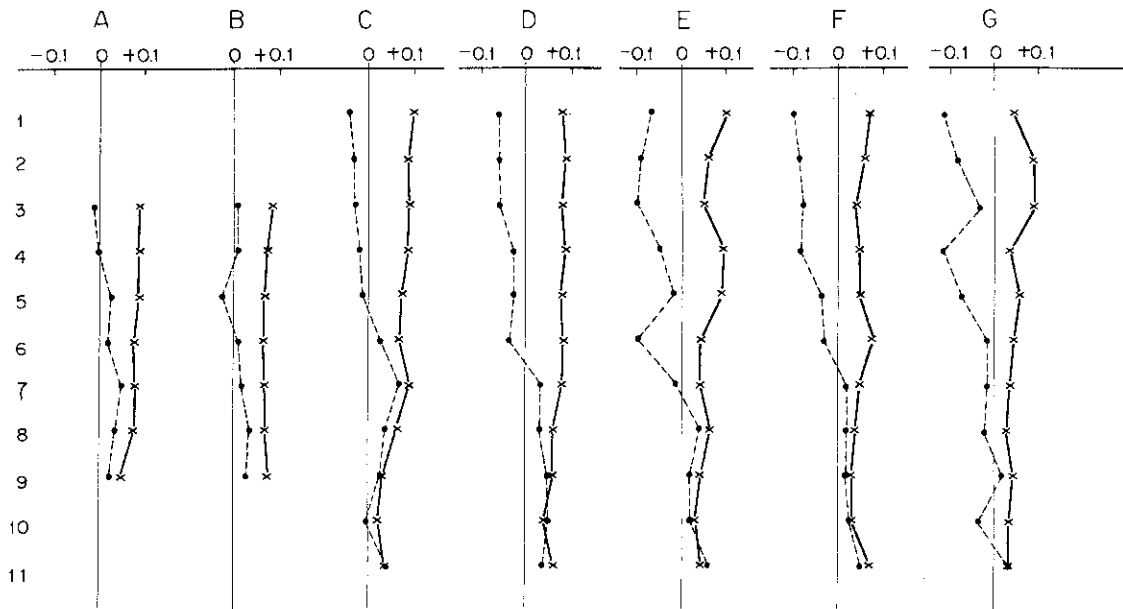


Fig. 56(1) 固定側前端面平面度 (最終状態)

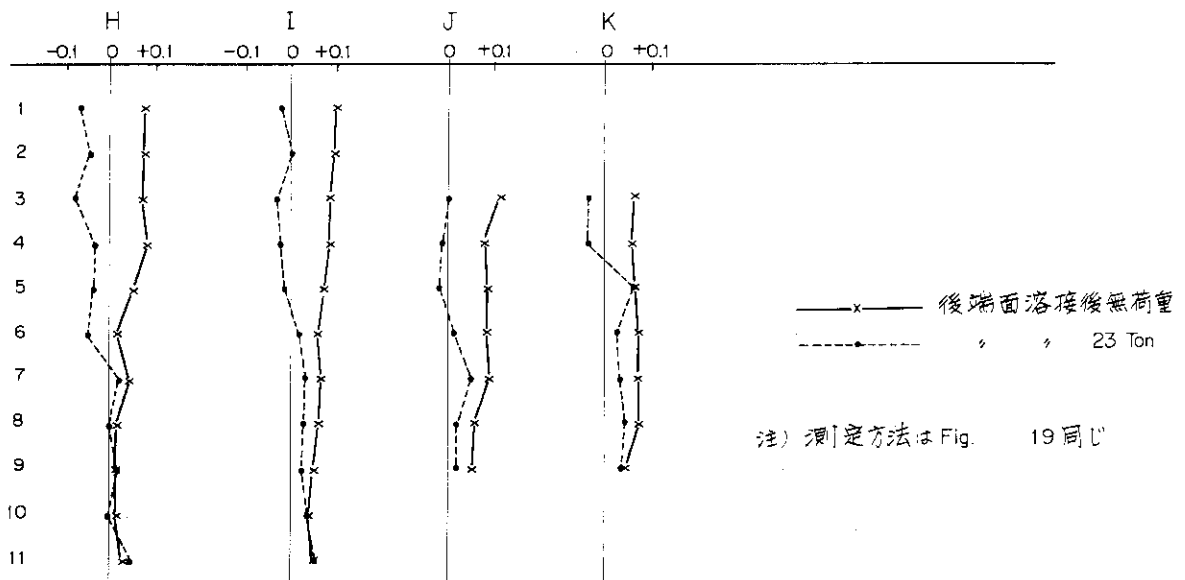


Fig. 56(2)

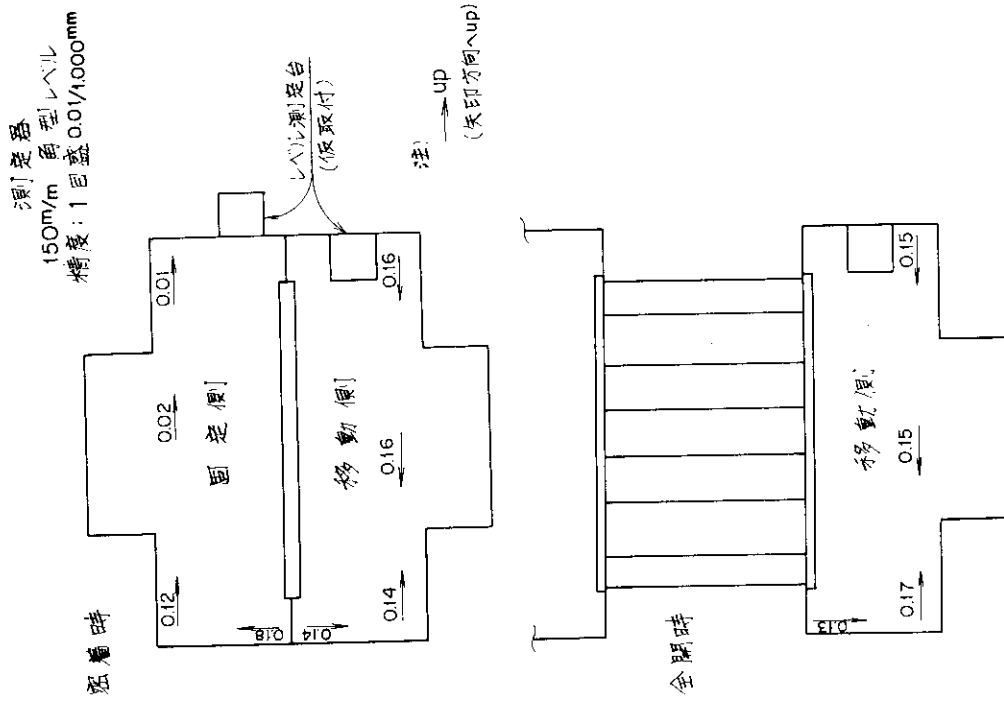


Fig. 57 テーブル上面レベル測定 (Bパターン 荷重時)

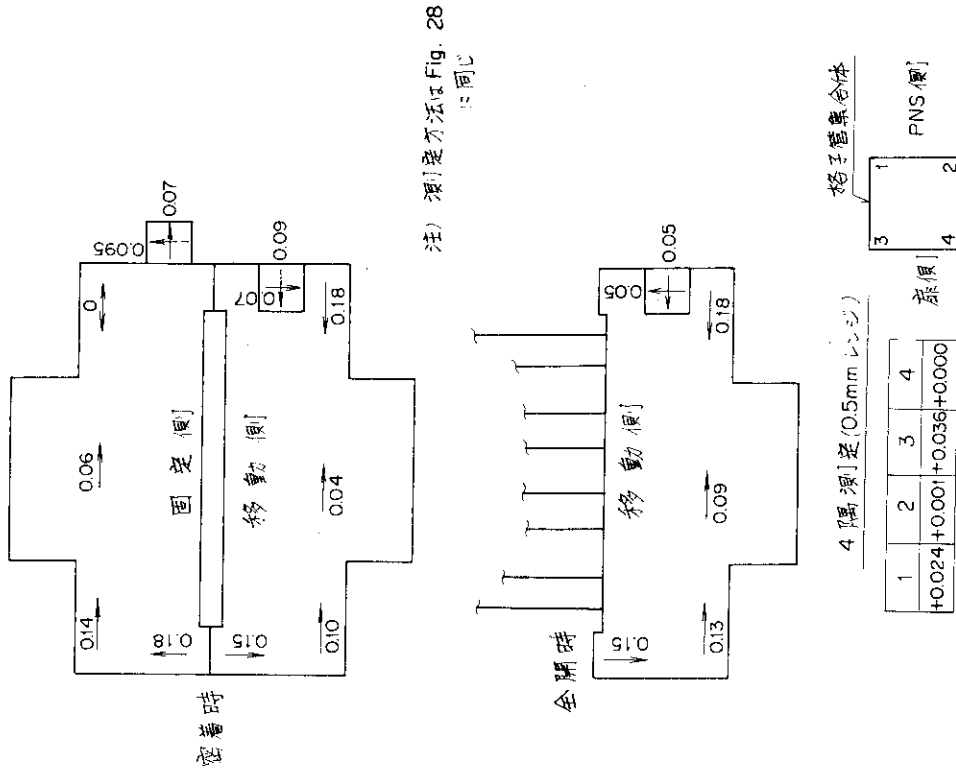
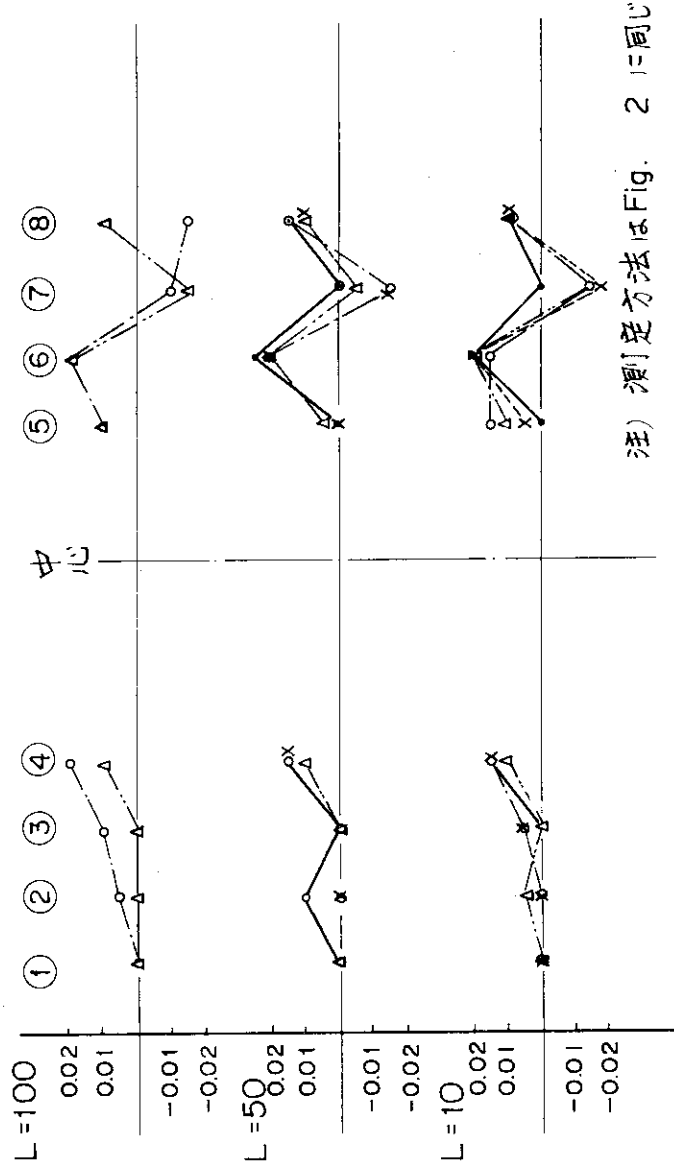


Fig. 58 テーブル上面レベル測定および四隅測定 (後端面熔接後無荷重)



注) 測定方法はFig. 2 に同じ

Fig. 59 組立後無荷重時のテーパー密着面平行度

3. 安全棒二連引抜機構

3.1 概要

FCAにおいて従来の臨界実験では制御安全棒は駆動機構1台に制御棒引出し1本という方式で使用しているが、格子管の拡張に伴ない炉心が大型化すると、FCAの制御安全棒機構に関して次のような系統が影響される。

- 1) 制御安全棒取付の位置および範囲
- 2) 制御安全棒引出し1本当りの反応度値の減少

1)の問題は従来の制御安全棒駆動機構の取付が比較的小型の炉心を対象としているため、配置および取付可能台数に制限がある。従って駆動機構支持板および支持棒を全面的に更新して大型炉心配置に適し、かつ2)の問題の解決にも役立つものとする。

この改造により高速原型炉もんじゅの外側炉心の中心まで制御安全棒が配置出来るようにする。

2)の問題の解決にはいくつかの方法が考えられる。

- (a) 制御安全棒および駆動機構を増設する。
- (b) 1本当りの制御反応度値の大きいボロン挿入型安全棒機構を新設する。
- (c) 制御安全棒引出し中の燃料濃度を増して1本当りの反応度値を高める。
- (d) 1台の駆動機構で多数本の制御安全棒引出しを駆動する。

a)は駆動機構台数を大巾に増加させる事は系を繁雑にするため保守上に問題があり、又位置指示、操作スイッチ等の増設で制御盤の大巾改造も含み予算上無理である。

b)は原理的には秀れているが、ボロン(B-10)が高価な事と、安全棒駆動機構の新規設計の段階からはじめなければならず、今回は時間的な制約から難点がある。

c)は最も簡単で安上りであるが制御要素と周囲の炉心の燃料密度が大巾に異なることは実験上そこに特異点が出来てしまい補正実験が必要になる等望ましくない。

このような検討結果から今回の改造に当ってはd)の方式を採用する事とし、具体的には駆動機構の軸を中心として対向する2本の引出しを連結金具を介して1つの駆動機構で動かす「二連引抜き方式」である。これにはスクラム時の衝撃に耐えて従来のスクラム性能を満足し、かつ位置再現性の良い連結金具の設計開発試験が必要となる。

以上に述べたような考え方に立ち、安全棒二連引抜きの具体的な仕様内容の検討を行なった。

3.2 安全棒二連引抜機構の検討

まず2本の引出しを連結する連結金具の位置再現性の性能面について検討した。ここで二連金具の概念図をFig. 60に示す。図に示すように2本の引出しを挿入引抜した場合に引出し相互間はずれが生じ、任意の場所での停止時の位置再現性が悪くなる可能性がある。これは連結金具がフォーク形をしているために、駆動機構を動かす事により連結部のネジレや格子管と引出しとの間の接触抵抗等により起こり得るものといえる。

このような挿入引抜によるずれを「ゆれ巾」と称して、実験データの精度を従来と同程度に維

持するためには、ゆれ巾すなわち $a + b$ は 0.01 m/m 程度が望ましい数値であるという検討結果が出された。

このゆれ巾を基本として二連引抜に関し次のような内容を決定した。

- ① 現在の制御安全棒引出し及び駆動機構は原則として軽度なものを以外、改造、補強は行なわない。(除連結金具部分)
- ② 二連方式は引出しが制御安全棒取付位置に対応する格子管位置を中心とし隣接する格子管位置の上下、左右および両対角線上の一对の任意のものを選ぶようにする。(Fig.60参照)
- ③ 1本の制御安全棒引出しに装填される燃料体模擬物の重量は最大20kgとする。それぞれの引出しに装填される燃料等の重量差は最大2.5 kgとする。
- ④ 通常の駆動機構の性能及びスクラム時のスクラム性能は従来と変更ないものとする。
- ⑤ 二連にした場合、通常動作時に2本の引出しの軸方向相対的位置のゆれ巾は 0.01 m/m を目標とする。
- ⑥ 二連連結機構は狭い冷却室内で装着脱するため、作業が簡単容易で且つ精度上確実なものとする。

今回の改造において二連引抜機構にした場合に所要の性能を満足するまでに到達するには相当の努力が必要と考えられる。このように二連引抜機構の製作は「R&D」としての要素を多分に含んでいるといえる。

二連引抜機構の仕様内容を検討した後、「制御安全棒二連引抜機構試験実施計画書」が作成された。

この目的としては制御安全棒二連引抜機構について、現有の制御安全棒駆動機構本体が二連機構に対して十分な動作性能を満足するか否かを確認するために試作試験を行なう事にある。この試験には既設の制御安全棒駆動機構試験装置を用いて二連引抜機構の試験が出来るように改造して行なう。Fig. 61のような試験台に模擬格子管を組立て、左右、上下、対角の組合せで格子管のピッチ、ねじれ、曲り等の主要寸法は現物のFCA格子管集合体のデータに合わせて行なう。

この試験実施計画書の検討の後、技術的な立場から二連引抜機構について再度検討を加えた結果、その構造等を考慮した場合に「ゆれ巾」 $a + b \leq 0.01 \text{ m/m}$ の数値の実現は難しい問題として表面化し、ゆれ巾について実施精度の見地から再検討を行なった。

まず今までの実験体験から得られた制御安全棒の任意の位置における位置精度の再現性の要素としては、

- ① 制御棒を動かした場合の位置再現性は最大で 0.2 m/m 。
- ② 安全棒を動かした場合の位置再現性は最大で 0.2 m/m 。
- ③ 引出しの燃料板等を詰め替えた場合の再現性は最大でも 0.2 m/m である。

上記3種類の数値から見られるように、位置再現性はそれぞれ 0.2 m/m 程度と考えられる。実際上はこの数値より小さくなっていると考えられるが、二連機構にする事によるゆれ巾の誤差も考慮に入れなければならない、今までよりも全体としての誤差が増加する可能性がある。このためにゆれ巾の誤差は少なくとも他の機器による位置再現性 0.2 m/m 以下として、二連引抜機構の精度上の安全ファクターを考慮してゆれ巾を 0.1 m/m にする事に決定した。この段階で試作製作試験に入る事にした。

3.3 安全棒二連引抜機構の強度計算

試作製作に着手する前に「安全棒二連引抜機構，連結棒強度計算書」が作成された。この計算書は，安全棒二連引抜機構でスクラム時に連結棒に加わる最大荷重時における，強度，変位の検討を行なったものである。

計算書の内容を次に要約する。ここで計算条件として下記の数値を与えている。

- | | |
|--------------------|----------|
| 1) 2本の安全棒引出しの最大重量差 | 2.5 kg |
| 2) 連結棒に加わる最大圧縮荷重 | 2,300 kg |
| 3) 連結棒に加わる最大引張荷重 | 500 kg |

なお，1)は今回の改造に関して決定した仕様値であり，2)と3)は今までの制御安全棒駆動機構の性能測定で得られている数値で，完全挿入位置からスクラムした場合の最大値をとっている。その時の位置関係はFig.62の通りである。これが計算モデルとなっており完全挿入位置から安全棒をスクラムさせ，その時発生する最大荷重の位置関係がわかる。

又，計算モデルとしては直径26mmの連結棒が一様にあり二連金具との連結部に荷重差に対応する曲げモーメントが加わるものと仮定している。

2.5kgの荷重差による曲げモーメントを計算してみると，引出し荷重54kgのとき2.3 tonの軸力がスクラム時に発生する。したがって曲げモーメントをFとすると

$$F = \frac{2,300 \times 2.5}{54} = 106.5 \rightarrow \text{約 } 110 \text{ kg}$$

このような条件で計算を行ない，以下のような結果が得られた。

(1) Fが加わる点でのたわみ

最大圧縮荷重が発生する位置でのたわみ δ とたわみ角 i は

$$\text{たわみ } \delta = -0.190 \text{ m/m}$$

$$\text{たわみ角 } i = -0.000195$$

となっている。各点におけるたわみ δ およびたわみ角 i の計算結果をFig.63に示す。

(2) 応力計算

スクラム時に連結棒に生ずる最大応力 σ_{\max} は， $\sigma_{\max} = 7.14 \text{ kg/mm}^2$ となり連結棒の使用材料S25Cの引張強さは 45 kg/mm^2 （下限値）降伏点は 27 kg/mm^2 （下限値）であり，これより十分小さいので安全である。

(3) 疲労強度

計算結果では，応力振幅 σ_a は $\sigma_a = 5.44 \text{ kg/mm}^2$ で，

平均応力 σ_m は $\sigma_m = 1.70 \text{ kg/mm}^2$ である。

S25C材のS-N曲線および疲れ限度線図によれば，

- 1) 両振引張圧縮の場合 $\sigma_a = 15 \text{ kg/mm}^2$ で 10^8 回
- 2) 引張圧縮疲れ限度は $\sigma_a = 5.44 \text{ kg/mm}^2$ で $\sigma_m = 22 \text{ kg/mm}^2$ である。故にFCAの使用状態では，連結棒の疲労強度は十分安全である。

(4) 座屈の検討

座屈の検討は軸圧縮荷重以外の作用をも受ける長柱として行なっている。合成応力 σ_{\max}

は計算により $\sigma_{\max} = 12.23 \text{ kg/mm}^2$ となり、使用材料 S 25C 材の降伏点 27 kg/mm^2 (下限値) であり十分安全である。結論として各計算結果より、たわみ、たわみ角計算、応力計算、疲労強度、座屈の検討、いずれについても許容値以内の数値となっており、安全棒二連引抜き機構におけるスクラム時の連結棒強度は問題なく、既設連結棒の改造、材質変更等の必要は認めないとの結論に達した。これまでに仕様変更した項目を訂正して安全棒二連引抜き機構の最終的な仕様にまとめた。

3.4 安全棒二連引抜き機構の設計および試験

1. 第1次試設計

この後、二連引抜き機構を具体化した第1次試験設計図面が作成された。Fig. 64-(1)に図面を示す。2本の安全棒引出しは連結棒を介して二連金具で固定され、二連金具は駆動部の連結棒とフクロナットで固定される。

この機構を技術的見地から検討を行なった結果、次のような問題点が明らかになった。図面のような機構で二連引出しを格子管に挿入していった場合を考えた時、格子管相互の配列ピッチが等間隔に組み上がっており、かつ格子管中心軸と連結棒中心軸が合致している場合は問題なく動作が可能であるが、現実的にはこれらの間には必ず数値のずれがある程度含まれて組み上がると予想される。従って二連引出し挿入中に、格子管中心軸と連結棒中心軸との間の最大のずれの位置では、連結棒の曲がりが大きくなり、二連機構に機械的な無理が発生して二本の引出し間にずれが生じ、ゆれ巾性能は満足のいかない結果となり、又最終的には起りうる一番悪い条件として Rod Stick の状態に陥る事が十分考えられた。このような問題が起こらないように試設計図面を修正する事となった。

これらの問題の解決策として検討して、練られてきたのが Fig. 65 に示すような「すり合わせ機構」を連結棒に組合せる事であった。図のように連結棒と引出しの連結部をすり合せ機構にすることにより、格子管を通る安全棒引出しの軸芯と連結棒の軸芯との間にずれが生じた場合に容易にずれを吸収出来て、二連引抜き機構はスムーズに動作していくものと考えた。又、すり合せの隙間は 0.1 mm で充分であり、この程度の隙間ではスクラム性能に影響を与える事は少ないものと判断して第1次図面の二連引抜き機構に上記の「すり合わせ機構」を追加修正する事となった。

2. 第2次試設計

この後、修正箇所を盛り込んだ第2次試設計図が作成された。Fig. 64-(2)に示す。修正図面では連結棒と安全棒引出しの間にすり合せ機構を組み込み、すり合せの隙間は 0.1 mm 、連結棒と引出しの軸芯ずれの吸収に 0.1 mm をとった構造とした。すり合わせ機構の導入により二連引抜き機構の基本的問題は解決されるものと判断し、二連金具を試作製作する段階へ進む事に決定した。

3. 解体前試験

二連引抜き機構の第2次試設計の完了に伴ない、工場を試作製作が開始された。その後、解体前の FCAI により試作製作した二連金具を用いて格子管集合体拡大工事後に新設する安全棒二連引抜き機構の構造、機能等を事前に確認するために解体前機能構造確認試験を実施した。試験、検査内容を次に述べる。

1) 取付調整検査

荷重は片側引出しにつき20kgとし、位置は引出しの完全挿入及び完全引抜の位置で行なう。格子管集合体の任意の位置において、そこを中心として上下、左右、片対角の格子管内の引出しと制安棒駆動機構が二連引抜金具を介して接続可能なことを確認し、スパン調整、引出しの位置決め等の機能を確認する。

- a. 2本の連結棒の平行度。Fig. 66のa, bの寸法を測定する。(インサイドマイクロメーター)
- b. 制安棒駆動機構と引出しを接続して、金具、連結棒の自重によるタワミ。(目視による)
- c. ターンバックルによるスパン調整
制安棒駆動機構完全挿入位置、 $5 \pm 0.1 \text{ mm}$ をターンバックルで調整する。
- d. 2本の引出しの相対位置の調整度 ($\pm 0.1 \text{ mm}$)
- e. 取付作業性

上記4項目が具体的な内容である。

2) 摩擦試験

静止摩擦および動摩擦をスプリングバランスで測定する。

3) 駆動試験を行なう

1)の位置にて上下、左右、片対角の二連とし、制御安全棒駆動機構を駆動し挿入引抜きを行ない、挿入引抜動作、二連の軸方向のゆれ巾およびモーターの電流、電圧、速度等を確認する。

- a. 挿入引抜がスムーズに行なえる事。
- b. モーターの負荷電流の測定。
- c. 挿入引抜速度 (60mm/min)
- d. 挿入動作時の2本の引出しの軸方向相対的位置のゆれ巾0.1mm以内。測定場所はFig. 66のC, Dをインサイドマイクロメーターで測定する。測定位置は、安全棒引出しの完全挿入位置、中間、完全引抜位置の3点とし測定回数は3回とする。

4) スクラム試験

荷重条件は1)と同じ。1)の位置にて上下、左右、対角の二連とし、制安棒駆動機構をスクラム時の性能および二連引抜機構の状態を確認する。

- a. 切れ時間20mS 以内、引抜時間200 mS 以内。
- b. スクラム時の連結棒に加わる荷重 (2.3 Ton以下)。
- c. スクラム時の各部の異常の有無。

連結棒の曲り、金具の曲り、ねじれ、接続部のゆるみの有無等。

上に述べた試験検査内容で解体前試験を行なった結果をTable 22に示す。この結果から明らかになった事は、駆動機構の取付場所によりゆれ巾の値に大きな差が見られ、炉心外側の駆動機構#3では仕様値から大きくはずれている。又二本の連結棒の平行度も悪く、駆動機構の据付場所によっては連結部すり合せの軸芯ずれ吸収量 $\pm 0.1 \text{ mm}$ では吸収出来ず、平行度a, bの差が最大で1.0mmのものもある。これは駆動部連結棒中心軸と格子管の中心軸とに芯ずれがあり、外側格子管配列ピッチが等間隔になっていない事を示している。従って格子管集合体拡大後もこのような問題につきあたる事が十分考えられるため、すり合せの軸芯ずれ吸収量を現在の0.1mm

から 1.0 mm 程度まで広げなければならない事が明確になった。

この解体前試験では FCA に据付けている任意の 2 台の駆動機構について行なったものであるが、現在状態における諸性能をほぼ把握したものと解釈した。この試験結果に関する検討内容をまとめると次のようになる。

(1) ゆれ巾について

- (a) 試験箇所、2ヶ所のうち格子管集合体中心に近い #13 についてはほぼ 0.1 mm 程度のゆれ巾であるが、中心より遠い場所の #3 はゆれ巾が 1 mm を越える値が出ている。
- (b) #3 部は、格子管配列ピッチにずれがある。
- (c) ゆれ方は Full out ~ Full in までほぼ一方向となっている。
- (d) 1 回目と 2 回目でゆれ巾測定値に大きな変化はない。
- (e) 重量差 2.5 kg による影響は、認められない。(#13)
- (f) スクラム前後のゆれ巾は #13 では認められないが、#3 ではスクラム後、ゆれ巾が増している。

以上のような傾向より

- 1) 格子管配列ピッチ誤差、曲り等によりゆれ巾が左右される。
- 2) 二連引抜金具そのものの構造は(c)(d)(e)項の結果から推定して基本的には良と考える。ただし格子管配列ピッチ誤差、曲り等を吸収しきれていないため、#3 では(#13 でも上下の組合せパターンで同様な結果が得られる) 格子管内をせった様な状態で駆動して、ゆれ巾が大きくなっている。

(2) 衝撃力について

- (a) 480 mm ストローク (全ストロークの 80% 引抜) からのスクラム時の衝撃力が 6 ~ 7 ton と非常に大きい、引出し 1 本の時のデータとは変わっていない。
- (b) 600 mm ストローク (全ストロークの引抜き) では 2 ton 前後の衝撃力である。
- (c) 測定方法は二連連結金具と引出しの間にもストレンゲージの取付が困難な為、連結金具と制安棒駆動機構軸との間に取付けている。又、取付は軸円周上の 1ヶ所のみで相対する位置には取付けられていない。

以上の結果から次のような事がいえる。

- (a) 測定値には、引出しの装荷荷重差、摩擦力差等により曲げモーメントが入っていると考えられるため、測定値 = 軸圧縮力と判断するには難点がある。
- (b) 480 mm ストロークからのスクラム時の衝撃力緩衝用ゴムの劣化による硬度変化 (硬くなっている) 等が影響しているものと考え、対策として
 - i) 次回の改造後の試験時には測定箇所を増してより正確な連結棒の軸圧縮力を測定する。
 - ii) 衝撃力を減少させるため、緩衝用ゴムを取替る必要がある。
 - iii) 曲げモーメントが大であるため、連結金具取付部軸径を大きくして補強する。

(3) スクラム性能について

スクラム時の切れ時間および引抜時間は、仕様値 20mS および 200 mS 以内に入っており問題はない。

以上に述べたような FCA 解体前の二連引抜試験結果の検討内容をもとにして、これから後

の進め方について検討した結果、次のような結論に達した。

- ① ゆれ巾が仕様値を満足していないため、対策として連結部すり合せ機構の半径方向ガタ $\pm 0.1 \text{ mm}$ を ± 0.5 から $\pm 1.0 \text{ mm}$ 程度まで広げる。

この改造した二連金具を用いて工場において、制安棒駆動機構試験盤によりテストを行ない二連金具の改造点をまとめて、格子管拡大後の本試験に備える。

このような結論を基にしてその後、第3回目の二連引抜機構の修正図面が作成された。

4. 「第3次試設計」

Fig. 64-(3)に修正した第3次試設計図面を示す。この修正図面について述べると、連結部すり合せ機構の半径方向ガタを $\pm 1.0 \text{ mm}$ に広げた。二連金具そのものの重量による連結棒の垂直方向の曲りを吸収するために、引出し側のすり合せ部に $R = 50 \text{ mm}$ の円みを持たせた。

「二連精度確認試験仕様書」

これと並行しながら、製作工場で行なう試験内容を記述した「二連精度確認試験仕様書」がまとめた。この仕様書には試験の実施方法について実際のFCAの出来上りの性能に近いと考えられる条件でかつ最も悪い方の条件を作り出して試験を行なう事を記述した。

試験条件として

- 1) 荷重は最大20kg/引出し1本、重量差は2.5 kg。
- 2) 組合せは、上下、左右、対角。
- 3) その他

a) 制安棒駆動機構と格子管の中心軸ズレ	0.5 m/m
b) 格子管の配列ピッチ誤差 (上下)	1.4 /m
" (左右)	1.4 m/m
" (対角)	2.0 m/m
c) 格子管の曲がり	1.3 m/m

これらの条件で制安棒駆動機構を操作し、次のような試験を行なう。

(1) 摩擦力試験 駆動試験前に二連引出しおよび駆動機構シリンダーの静摩擦力および動摩擦力を測定する。

(2) 取付調整確認検査 二連金具をセットした後、二本の連結棒の平行度および完全挿入位置を確認する。

(3) 駆動試験 通常駆動操作を行ない、下記項目の測定を行なう。

- a) 二本の連結棒の平行度
- b) 完全挿入位置
- c) 二本の引出しの軸方向相対的位置のゆれ巾。
- (d) 挿入引抜速度 (ゆれ巾の測定は安全棒引出しが完全挿入位置、中間、完全引抜位置の3点を行なう)

(4) 完全挿入位置の再現性、通常駆動後に一旦スクラムさせ、再度通常駆動操作を行ない次の項目の測定を行う。

- | | |
|-----------------|-----------|
| a) 二本の連結棒の平行度 | b) 完全挿入位置 |
| c) 二本の引出し位置のゆれ巾 | d) 挿入引抜速度 |

(5) スクラム試験 完全挿入位置からスクラムさせ、その性能が規定値に入っている事を確認する。

なおスクラム試験時の軸圧縮力もストレインゲージで測定する。

5. 「工場試験」

これまでに述べた試験内容で行なった工場試験の試験結果をTable 23に示す。この結果から総合してみると、各々の試験番号の試験条件における二連引出しの組合せにおいて、左右、対角の組合せの場合はゆれ巾がほぼ0.1 mmに入っていると考えられるが、上下の組合せではいづれにおいても0.2 mm以下にならず、この組合せは現状の構造では考慮すべき問題点としてはっきりしている。そこで問題点を明確にするためにゆれ巾の測定結果をさらに細かく分析してみたところ、次の様な現象がある事が解った。Fig. 67にその結果を示す。

図に示すように試験番号⑤の上下組合せの例では、ストローク 100 mm から50mm 間隔ごとにゆれ巾が徐々に増加の傾向を示し、ストローク 500 mm 付近でゆれ巾が最大となりストローク 600 mm の完全挿入ではゆれ巾がやや下がる傾向を示している。すなわち、二連引出しが格子管に入っていくのに従ってゆれ巾が増加し、完全挿入の手前で最高になり、完全挿入でややもどる。又、試験番号(4-b)の対角の組合せの例では、二連引出しが格子管に入るに従ってゆれ巾が増加してはいるが、増加量は微少である。このように組合せのちがいでゆれ巾の値およびストロークに対する変化の傾向に違いを生ずる原因を考えてみた場合、試験条件に微妙な差があるにせよ、その組合せ特有の何かの原因で起こり得る事がTable 23のデータ類からある程度推測する事が出来る。以上のように工場試験ではごく一部の組合せのものを除くと、ほとんどの組合せについてゆれ巾は仕様値0.1 mmを満足していないが、工場で可能な試験はほぼ終了したものと見なし、以下のような判断を下して次の工程へ進める事とした。

改良した現有の二連引抜金具を拡大された格子管集合体に据付、実際の装置のもとで二連引抜機構の現地試験を行ない。その性能を確認する。ゆれ巾が0.1 mmを満足しない結果の組合せが出てきた場合に、そのゆれ巾の数値が実際に実験上の見地から考慮して使用出来得るものかどうか判断するために、臨界実験の際に実際に使用してデータを取り、実験精度上から実用出来る方式なのか、そのデータの検討により確認する事にした。

3.5 現地試験

格子管集合体の拡張完了後、実機による現地試験が行われた。試験データをTable 24に示す。

この表からわかるように各々3回づつの駆動試験後に測定したゆれ巾の値は16台中12台が仕様0.1 mm/mを満足していない。また駆動機構の停止時位置再現性も少しばらつきがある。固定側と移動側の区別なく二連引抜機構のゆれ巾が仕様値を満足していない原因は共通の機械的な欠陥があるものと考え、駆動機構および二連金具の周辺について調査した。この調査により駆動機構と二連金具を連結する駆動機構側の連結棒ネジ部にガタつきがある事がわかった。この部分は今回の改造工事の範囲外として始めから考慮されておらず、その結果発見するのが難かしく試験過程の中で究明されたものである。ネジ部は連結棒にねじ込んだあと、ピンを打ち込んでロックし、ネジのゆるみを防止する構造になっていたが長年使用している間にシステム等の衝撃や駆動機構の操作時の引張等によりガタついてきたものと推定される。従ってネジ部のガタつきで二連金具

が定位置に固定されず、ネジ部の動き方に応じて二連金具の連結部が追従してその結果ゆれ巾が大きく出たものと考えられる。このネジ部のガタつきが原因なのか明確にするために、移動側の全ての駆動機構連結棒ネジ部のロックピンをぬき増締した後に再度ゆれ巾の測定試験を行なった。

Table 25にその結果を示す。この表からわかるように、#9 S/Rの駆動機構の結果を除いてはゆれ巾は仕様範囲に入り、大中に改善されている。

このようにネジ部のガタつきがその大きな原因である事が確かめられたため、解決策の検討を行なった結果次のような改善を行なう事になった。

連結棒ネジ部は恒久的に固定する事が必要で、その方法として従来のロックピンによる固定をやめて、ネジ部と連結棒の増締めを行ない、ネジ部の周囲にTIG溶接を行なう。(Fig. 68参照)

以上のような結論に基づき、駆動機構本体から連結棒を取りはずしてTIG溶接の改造を行ない、二連引抜機構の再試験を行なう事となった。

「二連引抜機構の再試験」

連結棒ネジ部の改造後、Fig. 69の配置で二連引抜機構の再試験が行なわれた。試験結果をTable 26及びFig. 70に示す。これらのデータの内容を検討すると次のような事がいえる。

1) 全体

- a. 連結棒ネジ部のTIG溶接を行なった結果、ゆれ巾、停止位置再現性のデータは改造前のデータと比較して数値が小さくなっており、性能が向上している。

2) ゆれ巾

- a. 工場試験時にゆれ巾性能の悪かった上下組合せでは、今回の再試験においては他の組合せと比較して差異は認められず、性能的にはほぼ同程度と考えられる。
- b. スクラムさせる前の通常動作時において、ゆれ巾が仕様値0.1 mmをオーバーしている駆動機構を選びスクラムさせ、その後のゆれ巾を測定した。その結果ゆれ巾はスクラム前とほぼ同程度の値を示して大きな変化は見られず、ゆれ巾数値が安定している。
- c. スクラム前の通常動作時において、ゆれ巾が0.1 m/m以内の駆動機構では2回連続のゆれ巾測定で同程度の数値が出ており安定していると考えられる。

3) 停止位置再現性

- a. スクラム前の通常動作時において、ゆれ巾が0.1 m/m以内の駆動機構では停止位置の再現性は全数が0.05 m/m以内にあり安定している。スクラム後の再現性はグラフからわかるように、#4、#9、#7 S/Rが0.05 m/mをややオーバーしているがそれ程大きな変動量とはいえない。

4) 安全性

- a. 二連引抜機構にした事による駆動時の二連引出しのひっかかりやこすりは認められない。
- b. スクラム性能については、二連引抜機構前の性能と比較して差異はなく、原子炉の安全性上からは問題はでないものと考えられる。

これらの検討結果から、ゆれ巾性能や停止位置の再現性については、全体的には比較的安定した性能を有しているものと評価できる。

ただし実用機器としての二連引抜機構の最終的な性能のチェックは、拡大工事完成後に行なわれる臨界実験で制御棒の臨界点等の再現性を確認する事になった。

5) 「二連引抜機構の精度評価」

臨界実験の開始後、種々の実験データの中から制御棒二連引抜機構の精度に関する数値を集めて評価を行なった。その結果、炉心状態に実験のために燃料引出しの差し替え等の変更を加えないでFCAを密着したまま連続運転する場合は制御棒C/Rの臨界点の変動量（再現性）は5/100 m/m以下である事が確認され、反応度変化に換算しても実験精度に影響するような量とはいえない。すなわち、二連引抜機構は臨界状態で精度良く動作しており、実用機器として十分に使用し得るものと言える。なお実際の実験データの評価内容については他の機器の精度と密接な関連があるため、臨界実験後にまとめられた参考文献(2)で細目にわたり記述してあるのでここでは省略する。

Table 22- (1) 解体前試験結果 (# 13 駆動機構)

(引出し荷重20Kg,17.5 Kg)

左右組	駆動試験 (1回)			駆動試験 (2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	115.75	115.55		115.72	115.53		上 5.0	下 4.95		
中間	413.36	413.16	0	411.07	410.88	0	4.95	4.95		
Full in	709.04	708.86	0.02	708.99	708.81	0.01				

上下組	駆動試験 (1回)			駆動試験 (2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	115.77	115.82		115.77	115.84		上 5.0	下 4.95		
中間	409.94	410.16	-0.17	419.99	419.78	-0.14	5.0	5.0		
Full in	708.97	709.12	-0.10	708.97	709.12	-0.08				

対角組	駆動試験 (1回)			駆動試験 (2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	115.77	115.46		115.76	115.43		上 5.1	下 5.05	156.05	156.15
中間	413.00	412.73	0.04	424.62	424.35	0.06	5.0	5.0	+0.1	
Full in	709.06	708.73	-0.02	709.00	708.66	-0.01				

スクラム試験後

上下組	駆動試験 (1回)			駆動試験 (2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	115.57	115.68		115.58	115.67		上 5.0	下 5.0	110.35	110.35
中間	414.84	415.01	-0.06	421.83	422.01	-0.09	5.0	5.0	0	
Full in	709.02	709.12	0.01	708.94	709.02	0.01	5.0	5.0		

(単位mm)

13 駆動機構

(引出し荷重 20Kg, 20Kg)

左右組	駆動試験(1回)			駆動試験(2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	115.76	115.62		115.76	115.61		5.0	5.02	110.25	110.20
中間	419.65	419.55	0.04	398.43	398.27	0.01	5.0	5.0	-0.05	
Full in	708.98	708.83	-0.01	708.94	708.81	0.02				

上下組	駆動試験(1回)			駆動試験(2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	115.76	115.82		115.77	115.82		5.0	5.0	110.30	110.20
中間	413.16	413.33	-0.11	410.03	410.26	-0.18	5.0	4.95	-0.1	
Full in	708.98	709.07	-0.03	708.92	709.04	-0.07				

対角組	駆動試験(1回)			駆動試験(2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	115.76	115.43		115.82	115.46		5.0	5.0	156.15	156.05
中間	407.32	407.03	0.04	412.57	412.29	0.08	5.05	5.0	-0.1	
Full in	709.01	708.66	-0.02	709.02	708.67	0.01				

[単位 mm]

Table 22-(2) 解体前試験結果

#3 駆動機構

(引出し荷重20Kg,20Kg)

左右組	駆動試験(1回)			駆動試験(2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	105.42	105.26		105.40	105.27		右 5.0	左 5.05	110.25	110.55
中間	404.59	404.36	-0.07	405.55	405.28	-0.14	5.0	5.05	+0.3	
Full in	710.07	708.81	-1.10	710.10	708.80	-1.17				

上下組	駆動試験(1回)			駆動試験(2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	105.12	105.13		105.08	105.04		上 5.05	下 5.1	110.3	111.3
中間	408.92	409.10	-0.17	404.46	404.67	-0.17	5.0	5.1	+1.0	
Full in	708.88	709.08	-0.19	708.90	709.06	-0.12				

対角組	駆動試験(1回)			駆動試験(2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	105.25	104.82		105.23	104.80		上 5.05	下 5.1	156.1	155.1
中間	404.13	403.89	0.19	404.02	403.77	0.18	5.0	5.1	-1.0	
Full in	710.11	708.82	-0.86	710.10	708.76	-0.91				

スクラム試験後

上下組	駆動試験(1回)			駆動試験(2回)			挿入位置		平行度	
	C	D	ゆれ巾	C	D	ゆれ巾	E (mm)		a	b
Full out	106.72	106.95		106.61	106.84		5.0	5.1	110.3	109.30
中間	410.58	410.19	-0.16	408.46	409.09	-0.40	5.0	5.1	-1.0	
Full in	709.35	709.96	-0.38	709.42	709.95	-0.28				

[単位mm]

Table 23 二連引拔工場試験結果

安全棒 = 連引拔機構工場試験の順序, 条件, 項目と
その概略試験結果は次の通りとなる。

[単位mm]

試験番号	試験条件	組合せ	ゆれ巾	完全挿入位置E	備考
①	軸芯のズレ 0.5 単管の曲り < 0.5 配列ピッチ 0	上下	0.97~0.18	0.03	注 1. 参照
		左右	0.07~0.	0.03~0.06	
		対角	0.57~0.06	0.06~0.14	
②	軸芯のズレ 0.5 単管の曲り < 0.5 配列ピッチ 1.4	上下	0.32~0.09	0.04~0.03	・ブッシュあり ・駆動軸ネジ部のし なおいし ・すり合せ機構の半径 方向ガタ 1 ^m m 片側
		左右	0.04~0.01	0.04~0.01	
③	軸芯のズレ 0.5 単管の曲り < 0.5 配列ピッチ 1.4	上下	0.19~0.03	0.02	
		左右	0.13~0.04	0.01	
④	軸芯のズレ 0.5 単管の曲り 1.3 配列ピッチ 1.4, 2.0	上下	0.19~0.05	0	
		対角	0.13~0.01	0.08	
⑤	軸芯のズレ 0.5 単管の曲り 1.3 配列ピッチ	上下	0.22~0.01	0.07	注 2. 参照

注 1. 試験番号①は次の状態で行なったものである

- a) 駆動機構取付部の駆動軸貫通孔に、駆動軸の半径方向ガタをおさえるためのブッシュを挿入していない。
- b) 駆動機構と二連金具を連結する駆動軸のネジ部にガタが注じていたか手直ししていない。(ロックピンのゆるみ)

注 2. 試験番号⑤は二連金具の連結棒と安全棒引出し接続部、すり合せ機構の半径方向ガタを1.0^mm 片側より0.5^mm 片側に変更して行なう

Table 24 現地試験データ (I)

安全棒二連引抜試験

(固定側)

[単位mm]

測定場所	駆動機構	組合せ	駆動試験(1)		駆動試験(2)		駆動試験(3)		停止位置再現精度
			C-D(差)	ゆれ巾	C-D(差)	ゆれ巾	C-D(差)	ゆれ巾	
B-4	#2	対角	0.20	0.15	0.22	0.17	0.22	0.21	0.04
D-13	#4	対角	0.26	0.30	-0.21	0.34	-0.23	0.31	0.09
A-2	#6	上下	0.35	0.21	0.40	0.28	0.40	0.27	0.03
D-4	#8	対角	-0.17	0.28	-0.16	0.27	-0.15	0.25	0.03
B-13	#10	上下	-0.18	0.22	-0.16	0.20	-0.17	0.21	0.02
C-1	#12	左右	0.53	0.09	0.51	0.10	0.52	0.08	0.04
C-14	#14	左右	-0.11	0.10	-0.11	0.10	-0.12	0.14	0.05
(スクラム後) B-13	#10	上下	-0.12	0.18	-0.14	0.19			0.02

(移動側)

測定場所	駆動機構	組合せ	駆動試験(1)		駆動試験(2)		駆動試験(3)		停止位置再現精度
			C-D(差)	ゆれ巾	C-D(差)	ゆれ巾	C-D(差)	ゆれ巾	
C-1	#1	左右	-0.13	0.05	-0.10	0.04	-0.10	0.05	0.03
B-4	#3	上下	0.37	0.38	0.35	0.37	0.35	0.37	0.02
C-9	#5	左右	0.31	0.08	0.31	0.09	0.30	0.09	0.02
D-4	#7	対角	0.47	0.24	0.48	0.27	0.48	0.25	0.04
A-14	#9	上下	0.43	0.31	0.50	0.32	0.52	0.33	0.09
B-13	#11	対角	0.73	0.10	0.69	0.06	0.73	0.13	0.04
D-13	#13	対角	0.04	0.06	0.03	0.06	-0.03	0.05	0.02
(スクラム後) A-14	#9	上下	0.42	0.31	0.44	0.33	0.44	0.34	0.03

Table 25 現地試験データ (II)

連結棒ネジ部増締後のゆれ巾データ

(移動側)

[単位mm]

測定場所	駆動機構	組合せ	駆動試験(1)		駆動試験(2)		停止位置再現精度
			C-D(差)	ゆれ巾	C-D(差)	ゆれ巾	
C-1	#1	左右	0.04	0	0.04	0	0
B-4	#3	上下	0.19	0.02	0.19	0.01	0.02
C-9	#5	左右	0.26	0.1	0.25	0.08	0.01
D-4	#7	対角	0.52	0.07	0.53	0.07	0.01
A-14	#9	上下	0.26	0.21	0.25	0.19	0.01
B-13	#11	対角	0.73	0.04	0.73	0.06	0.03
D-13	#13	対角	-0.13	0.12	-0.11	0.09	0.02

Table 26 現地試験データ (Ⅲ)

連結棒ネジ部改造後のゆれ巾データ
(固定側)

(単位 mm)

測定場所	駆動機構	組合せ	駆動試験(1)		駆動試験(2)		停止位置再現精度	備考
			C-D(差)	ゆれ巾	C-D(差)	ゆれ巾		
B-4	#2	対角	0.09	0.08	0.09	0.08	0.01	通常駆動後
D-13	#4	上下	0.10	0.03	0.11	0.05	0.01	
A-2	#6	対角	0.06	0.10	0.06	0.10	0.01	
D-4	#8	対角	0.36	0.19	0.33	0.18	0.02	
B-13	#10	上下	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	
C-1	#12	左右	0.17	0.04	0.18	0.06	0.01	
C-14	#14	左右	0.15	0.06	0.15	0.06	0.01	
D-13	#4	上下	0.15	0.14	0.14	0.16	0.01	第1回のスクラム後
A-2	#6	対角	0.07	0.12	0.06	0.09	0.04	
D-4	#8	対角	0.33	0.11	0.34	0.15	0.03	
D-13	#4	上下	0.15	0.16			0.01	第2回のスクラム後
A-2	#6	対角	0.06	0.11			0.04	
D-4	#8	対角	0.31	0.09			0.04	

(移動側)

測定場所	駆動機構	組合せ	駆動試験(1)		駆動試験(2)		停止位置再現精度	備考
			C-D(差)	ゆれ巾	C-D(差)	ゆれ巾		
C-1	#1	左右	0.10	0.01	0.09	0.01	0.01	通常駆動後
B-4	#3	上下	0.11	0.03	0.12	0.03	0.01	
C-9	#5	左右	0.35	0.12	0.35	0.13	0.01	
D-4	#7	対角	0.12	0.11	0.12	0.12	0.01	
A-14	#9	上下	0.19	0.18	0.19	0.18	0.01	
B-13	#11	対角	0.22	0.06	0.23	0.06	0.02	
D-13	#13	対角	0.15	0.03	0.17	0.03	0.02	
C-9	#5	左右	0.33	0.11	0.36	0.15	0.03	第1回のスクラム後
D-4	#7	対角	0.12	0.11	0.11	0.10	0.07	
A-14	#9	上下	0.19	0.10	0.20	0.15	0.04	
C-9	#5	左右	0.34	0.13			0.03	第2回のスクラム後
A-14	#9	上下	0.19	0.19			0.09	
B-13	#11	対角	0.23	0.06				

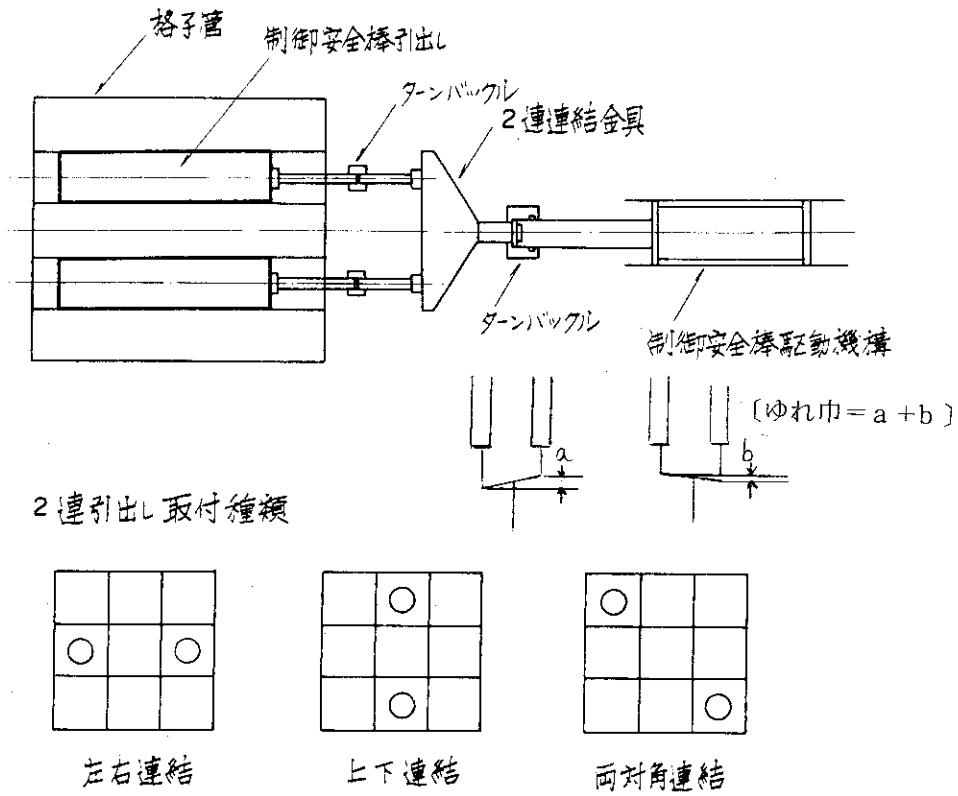


Fig. 60 制御棒および安全棒引出し連結棒概念図
(2連引抜方式を採用した場合)

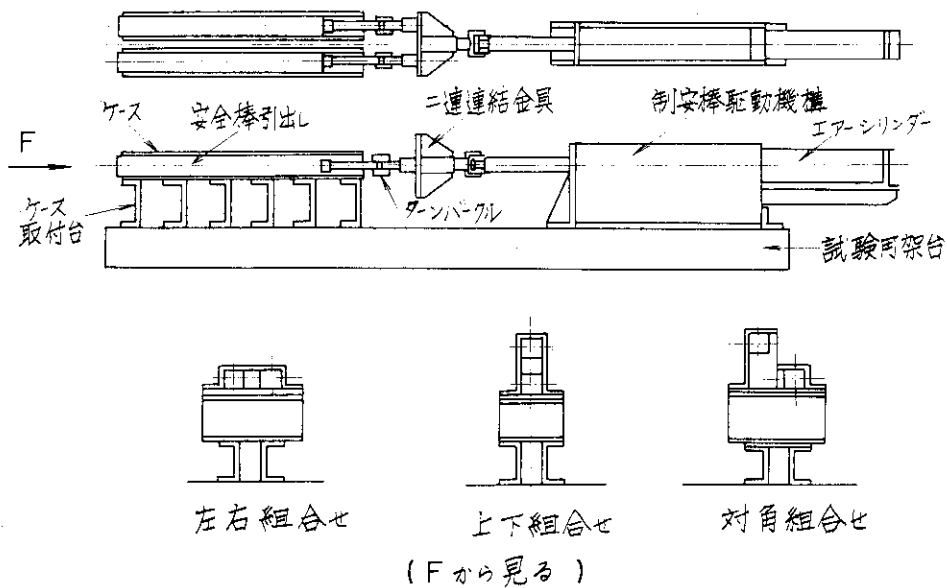


Fig. 61 二連引抜方式試験装置略図

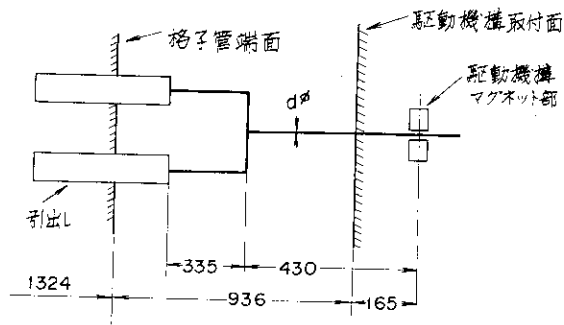


Fig. 62 最大荷重発生時の計算モデル

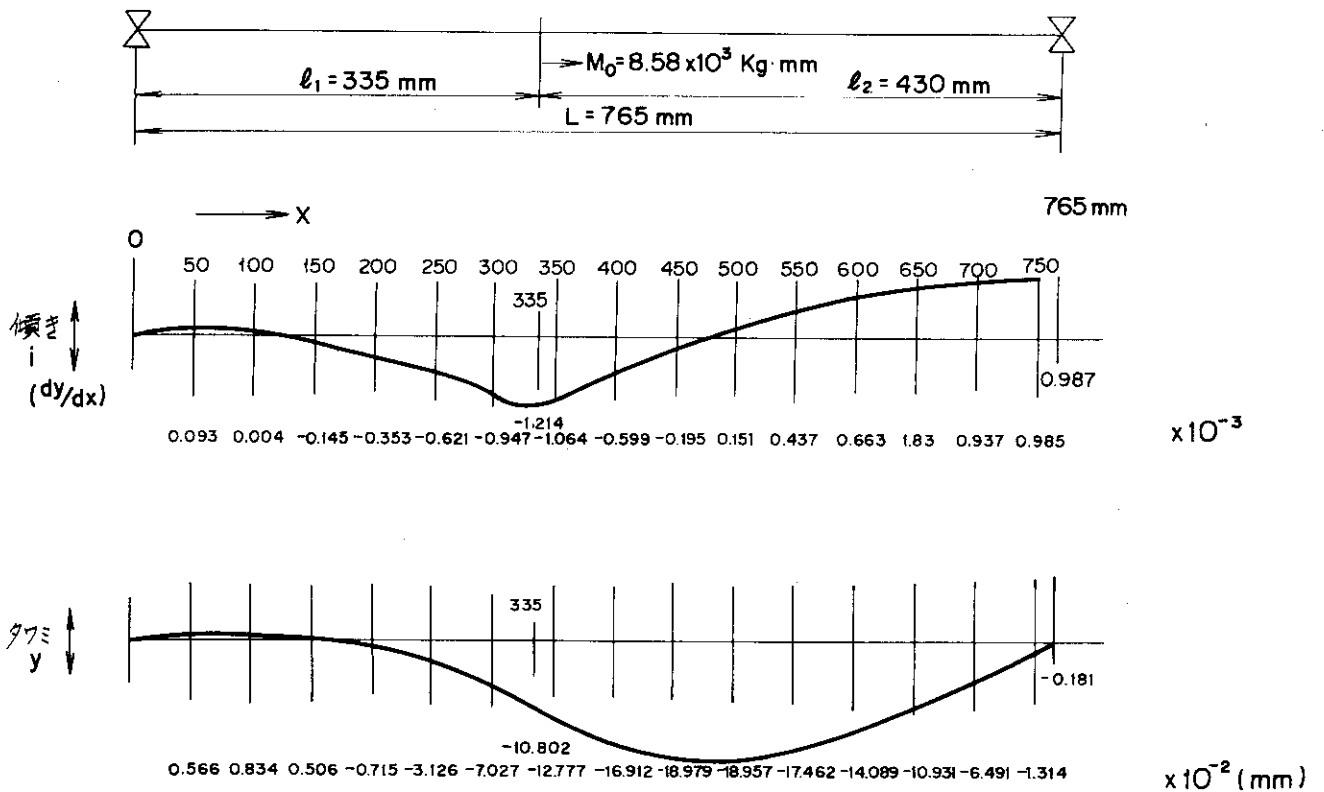


Fig. 63 たわみおよびたわみ角計算結果

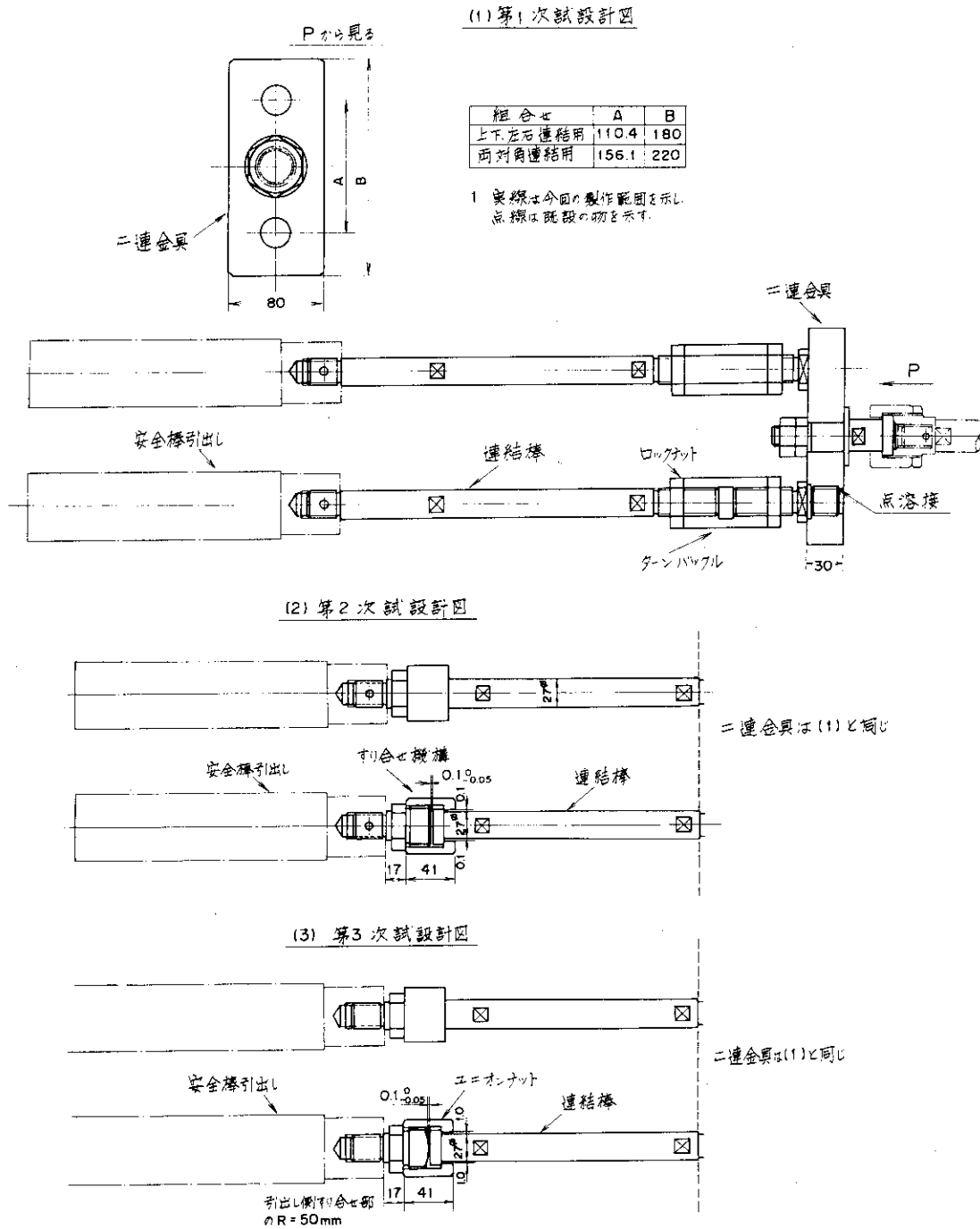


Fig. 64 二連引抜機構試設計図

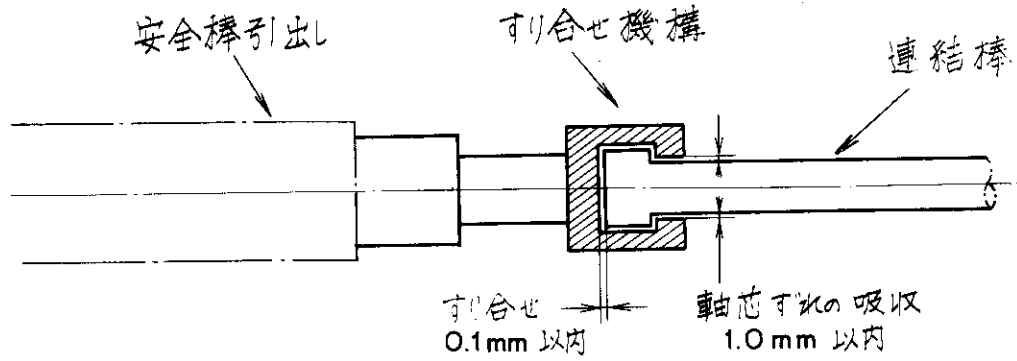


Fig. 65 二連引抜方式すり合せ機構概念図

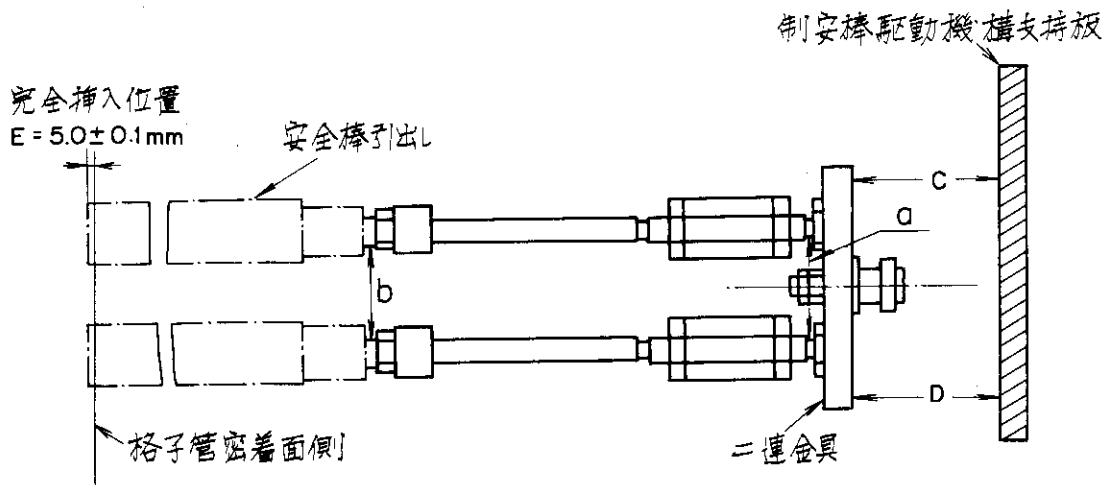


Fig. 66 ゆれ巾精度測定場所

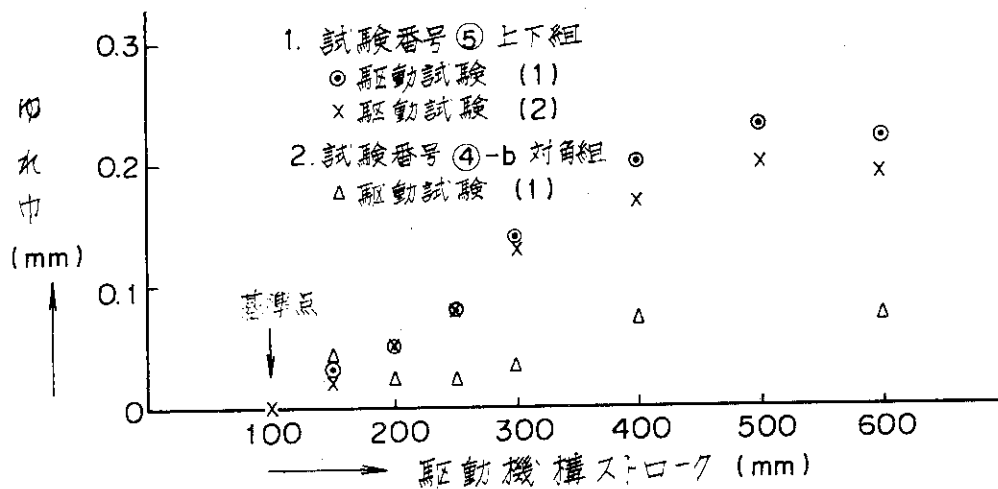


Fig. 67 ゆれ巾精度工場試験結果 ⑤ 上下組, ④-b 対角組

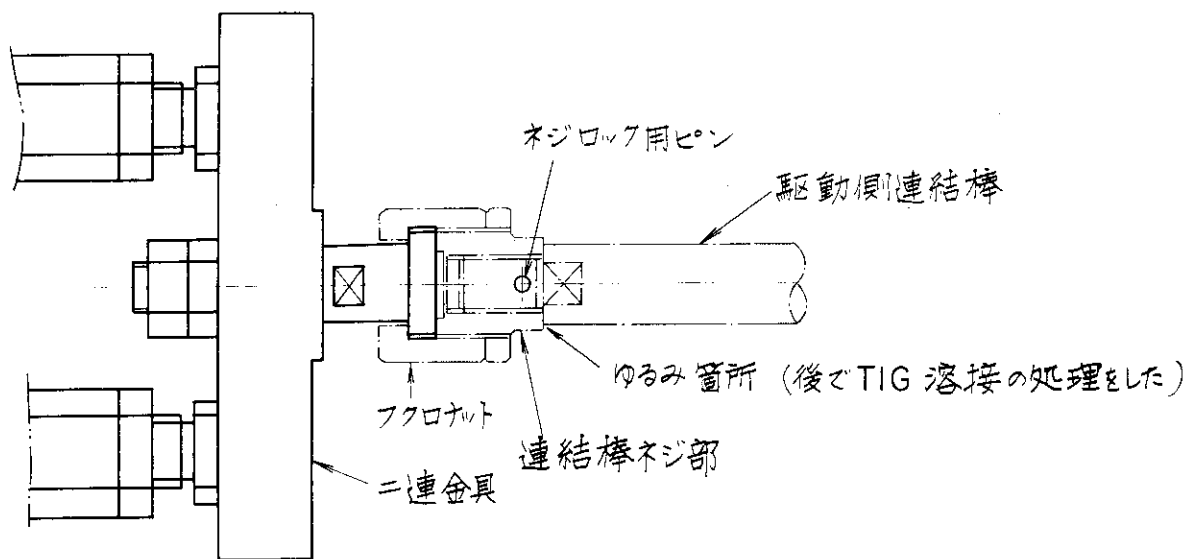


Fig. 68 連結棒ネジ部 TIG 溶接箇所説明図

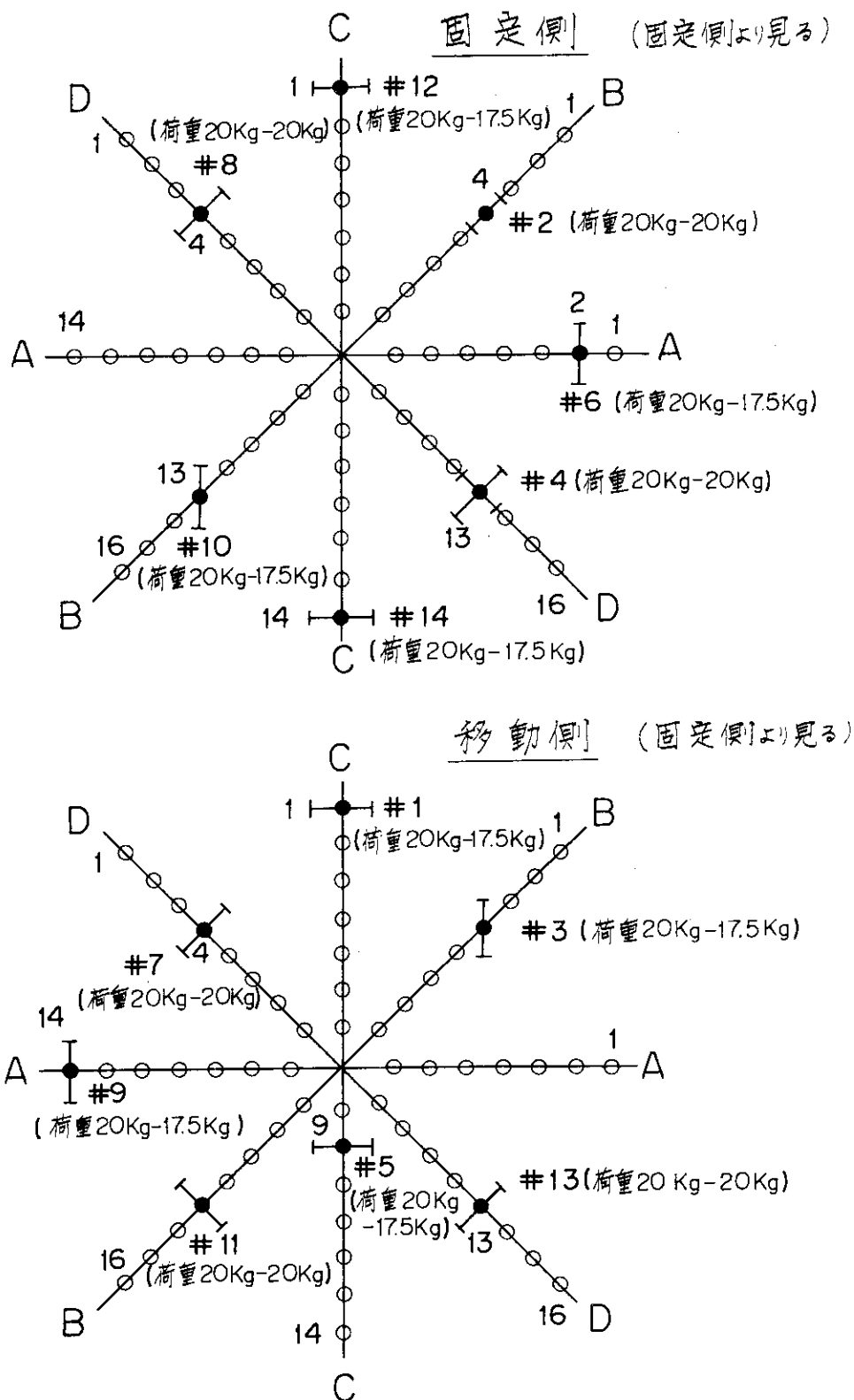
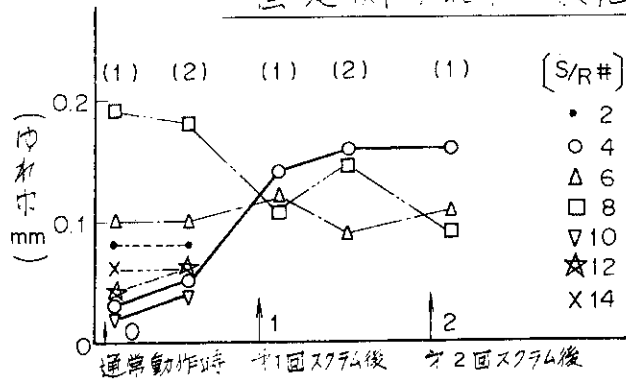
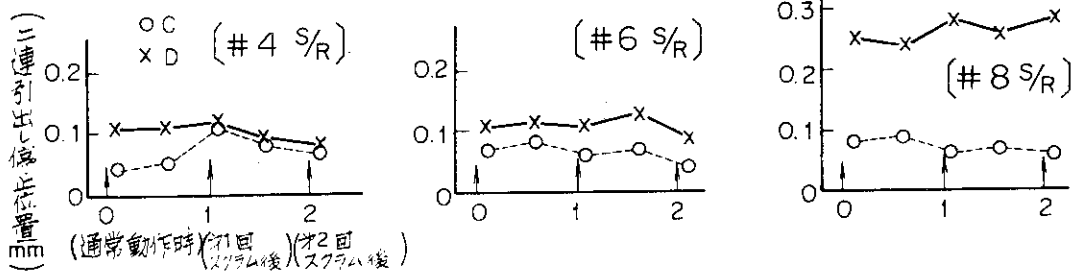


Fig. 69 現地試験ゆれ巾測定時の制御安全棒配置

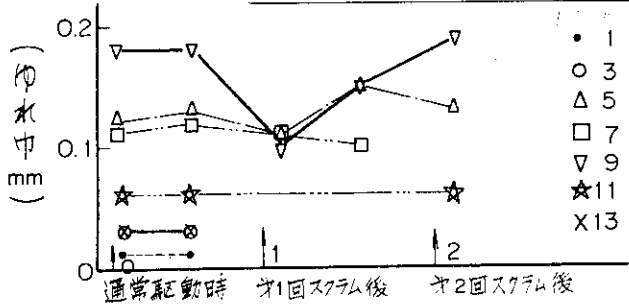
固定側ゆれ巾の変化



完全挿入時の停止位置再現性



移動側ゆれ巾の変化



完全挿入時の停止位置再現性

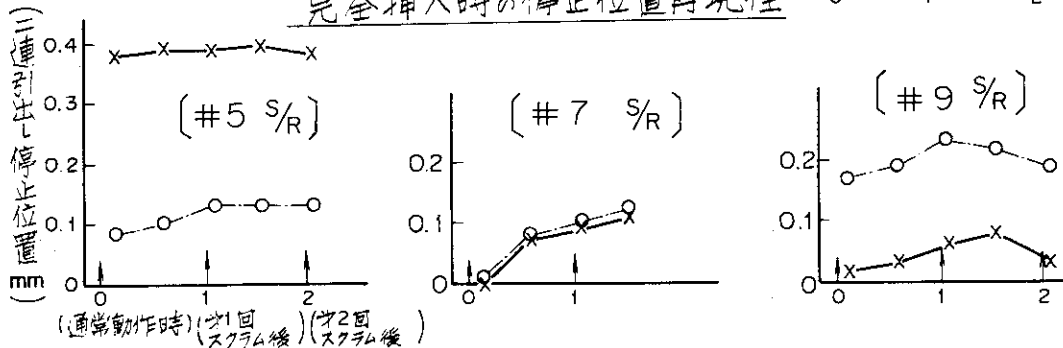


Fig. 70 二連引抜方式再試験のゆれ巾グラフ

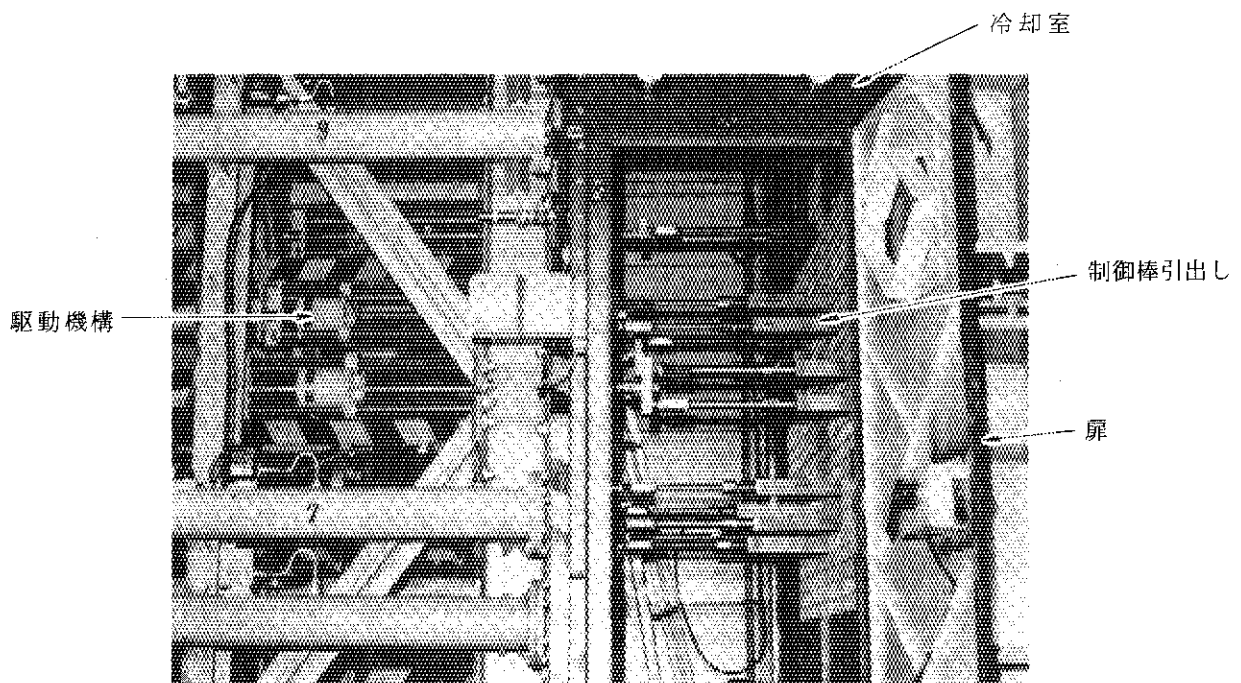
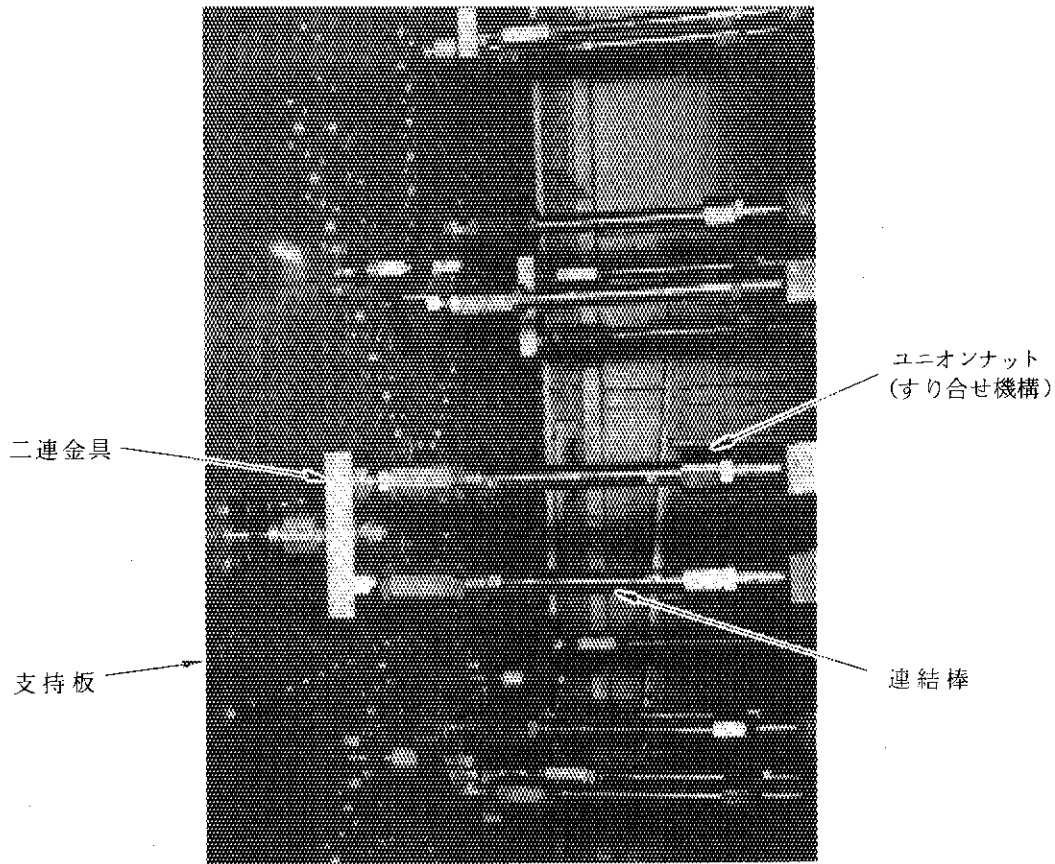


Fig. 71 安全棒二連引抜試験外観図

4. 制御安全棒駆動機構支持板及び支持枠

安全棒二連引抜方式の項で述べたように従来使用していた駆動機構支持板及び支持枠は、比較的小型の炉心用に製作されているため、拡大工事後に予定されている大型炉心配置に適するように新しく設計製作する事となった。

新しい支持板および支持枠の仕様内容について検討を行なった結果、次のような問題点が整理された。まず1番目は支持板にはどれ程の駆動機構据付用の据付孔を設け、さらにどのような配置にしたら良いのか。2番目に駆動機構の常設台数を何台とし、支持板、支持枠の強度はどの程度のものでなければならないのか。3番目には3行3列格子管引抜用の開口部はどのようにあけたら最も有効的で支持板の強度低下を最少限にする事が出来るか。以上の3点があげられた。問題点の2、3の強度に関しては後で述べる事とし、ここでは仕様内容についてのみ述べる。始めに1についてはFig.72に示すように支持板は中心格子管より対角線上及び上下左右対称線上9パックまでの同心円上に駆動機構が取付けられる大きさに設計製作する。据付孔数は各々の対角線上に8個づつ、上下左右対称線上に各々7個づつの合計60個に決定した。このような配置にする事により高速原型炉「文殊」の外側炉心の中心まで制御安全棒が据付けられる構造となる。Fig.73は文殊炉心にFCAの制御安全棒駆動機構の配置場所を同一寸法で重ね合せたものである。

2については制御安全棒二連引抜方式との関連から、支持板には最大8台の駆動機構が取付けられた場合のスクラム時の衝撃に十分耐える強度を有するものでなければならない。

3については開口部は中心格子管部3行3列相当の寸法165.6mm四方をあけて使用しない場合は補助板を使用することにより駆動機構が取付けられる構造とする。

以上に述べたような仕様内容を決定し設計段階に入った。Fig.74に制御安全棒駆動機構の支持板及び支持枠の全体図を示す。

制御安全棒駆動機構取付用のボルト穴はお互いに隣接しているものは共用できるように設計しており、ボルト穴は最少限になっている。支持枠補助板関係では左右方向の補助板が図のように寸法的に大きいため、取扱いが便利なように取手を設けるようにした。

この図面内容で仕様がほぼ満たされる見通しとなった為、工場製作に入る事となった。

工場製作の後、現地に搬入されて現地据付工事が開始された。ここで支持板及び支持枠の据付けに関して、あらかじめ考慮しておかなければならない問題が上げられる。すなわち、格子管集合体が組み上がり実際の炉心燃料物質が装荷されて格子管に荷重がかかった場合には、格子管集合体は全体的に沈み込みの状態になる。このため、支持板及び支持枠は格子管の沈み量を考慮して据付けなければならない。又、左右方向の据付精度は安全棒二連引抜機構の半径方向ガタ吸収量 ± 1.0 mm以内でなければならない。さらに両者には格子管相互の間隔のずれ、すなわち配列ピッチ誤差が加わるため、上下（沈み）、左右方向の据付精度は相当厳しい値となる。制御安全棒据付孔数は全体で60個あり、支持板の面に広く分布しているため全ての据付孔を上記の据付精度以内で組上げる事は相当の努力が必要とされる。

このような観点から格子管の沈み込み量の算定については、初期格子管集合体35行列の組上げ

時の格子管寸法検査データと解体前の格子管寸法検査データの変化量などを参考にして格子管荷重状態の沈み込み量を推定した。その結果沈み込み量は 0.2 m/m が妥当とされ、支持板の制御安全棒据付孔の軸芯の位置を格子管無荷重状態の軸芯から 0.2 m/m 下げた位置にして据付ける事となった。

支持板の据付調整作業は、支持板の位置を調整する毎に格子管中心軸と据付孔の軸心とのずれを測定し、多数の据付孔の軸芯ずれが均等にわり振られ、かつ誤差が小さくなるまで数回にわたりくりかえし行なわれた。

測定方法は Fig. 75 に示すように支持板と格子管の軸芯ずれは、支持板上の据付孔の格子管密着面側に芯出し治具を取り付けその中心にピアノ線を通して格子管反密着面の芯ずれをスケールで測定する。支持板とピアノ線の直角度の確認は、支持板にスコヤ（長さ 560 m/m ）をあてて支持板に対するピアノ線の直角度をスケールにより測定する。

この二つの測定を支持板上の全据付孔について行ない、格子管に荷重を付加しない状態の場合と荷重を付加した場合の二者について測定した。測定結果を Table 27, 28 に示す。これらのデータを検討してみると、固定側、移動側の支持板相方が格子管に荷重が付加される事により無荷重状態より 0.1 m/m から 0.3 m/m 範囲で沈み込んでおり、全体的な平均では予想値の 0.2 m/m に近く、精度良く組み上がっている事がわかる。

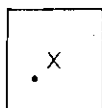
支持板の据付完了後、制御安全棒駆動機構の配置変更検査を行なった。引出しと二連金具（上下、左右、対角）を連結して、格子管密着面側から全ての据付孔の位置で固定側、移動側の全数の挿入、引抜き動作がスムーズに行なわれる事を確認した。又 Fig. 76 のようなパターンで二連金具と引出しを駆動機構に連結し、挿入引抜き動作がスムーズに行なわれる事を確認し、任意の位置に駆動機構を配置変更し、そこで上記の動作がスムーズに行なわれる事を確認した。

又支持板及び支持棒の強度検査としてスクラム試験を行なった。これは固定側及び移動側の支持板に取付けられている制御安全棒駆動機構全数を完全挿入位置にしておき、そこからスクラムさせて支持板、支持棒に異常のない事を確認した。以上のような測定、検査を行ない、支持板及び支持棒の性能検査を完了した。

Table 27 制安棒支持板の軸芯ずれ測定 (1)

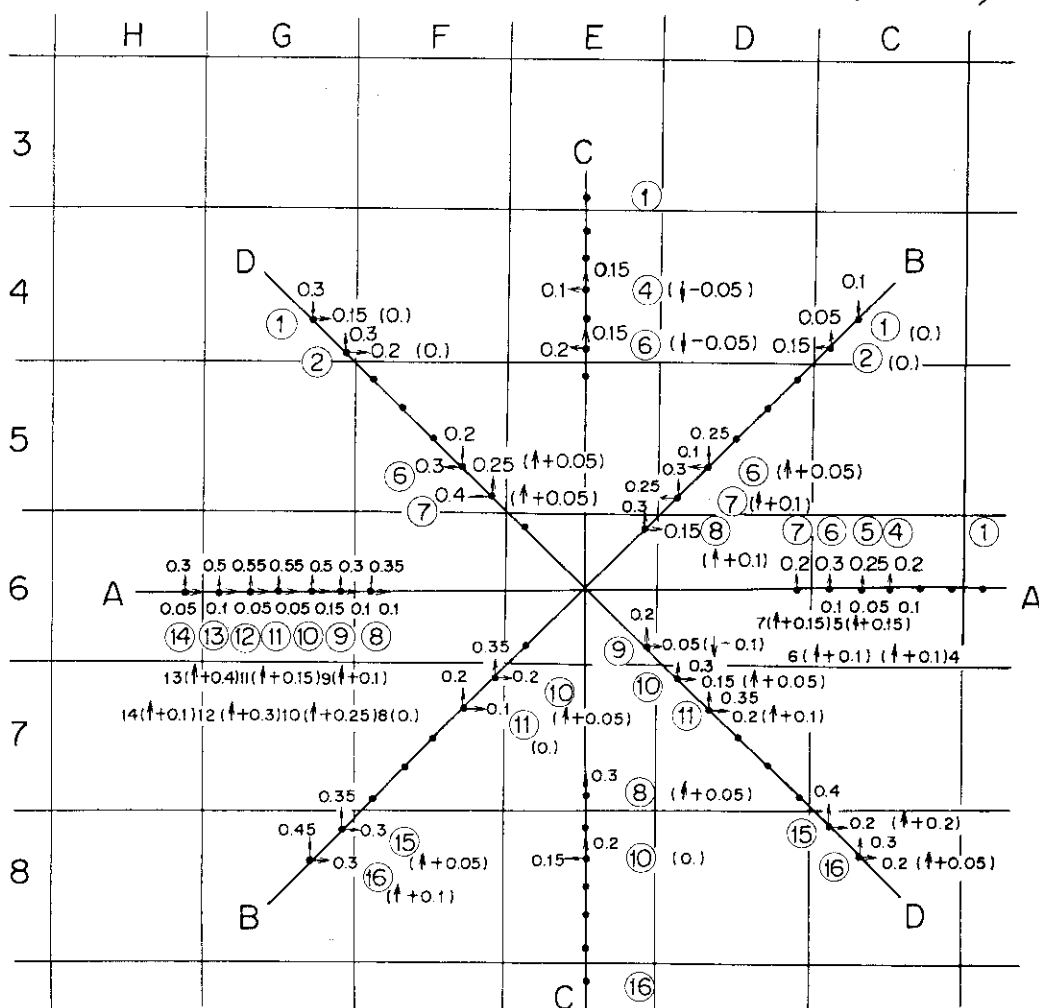
固定側 支持板と格子管の軸芯ずれ測定

荷重時



X 印 格子管中心
 • 印 ピアノ線

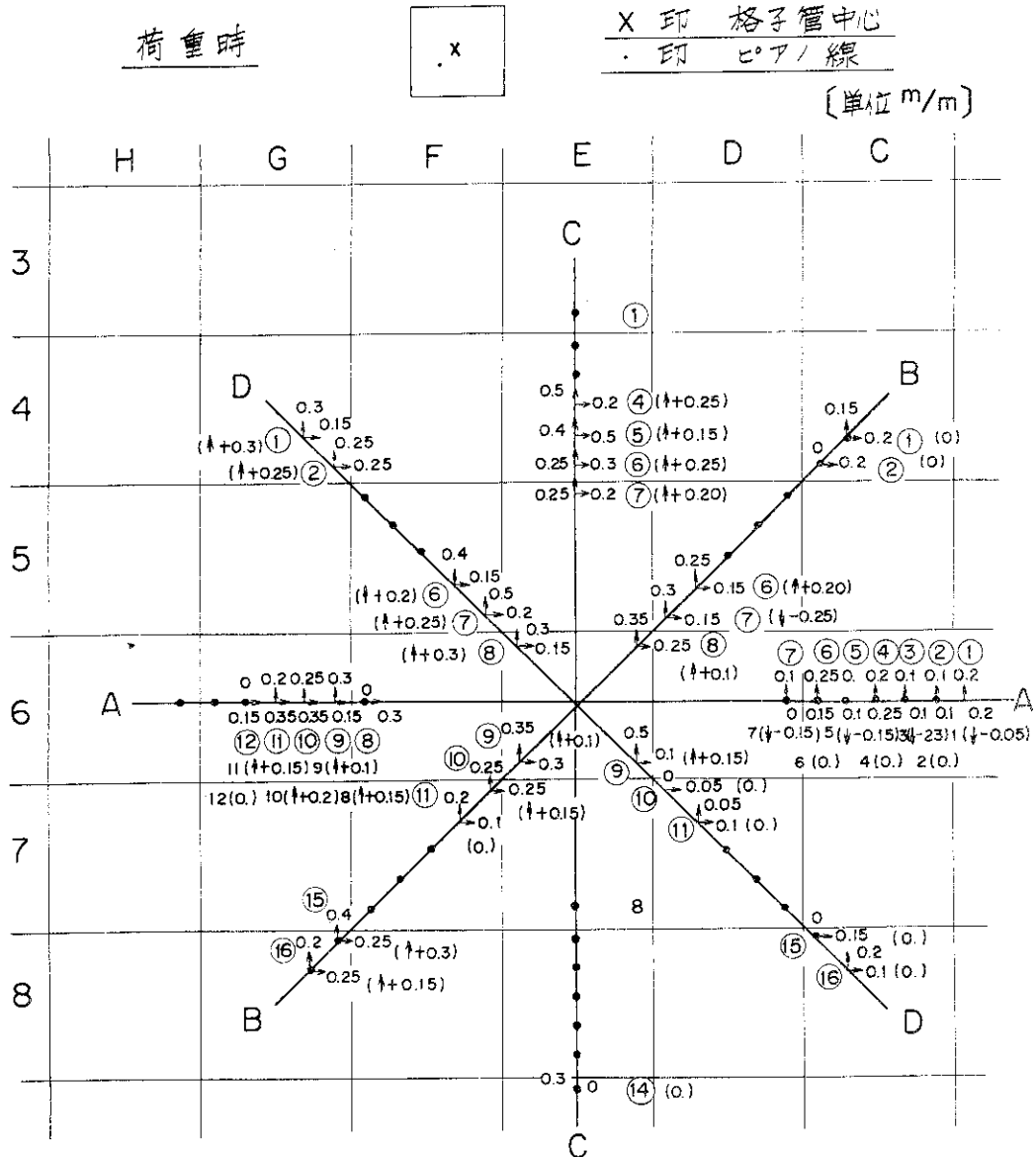
(単位 m/m)



- ① 矢印はピアノ線に対する格子管中心のずれ方向を示す。
- ② () は無荷重時に対する変化量をあらわす。

Table 28 制安棒支持板の軸芯ずれ測定 (2)

移動側 支持板と格子管の軸芯ずれ測定



- (1) 矢印はピアノ線に対する格子管中心のずれ方向を示す
- (2) () は無荷重に対する変化量をあらわす。

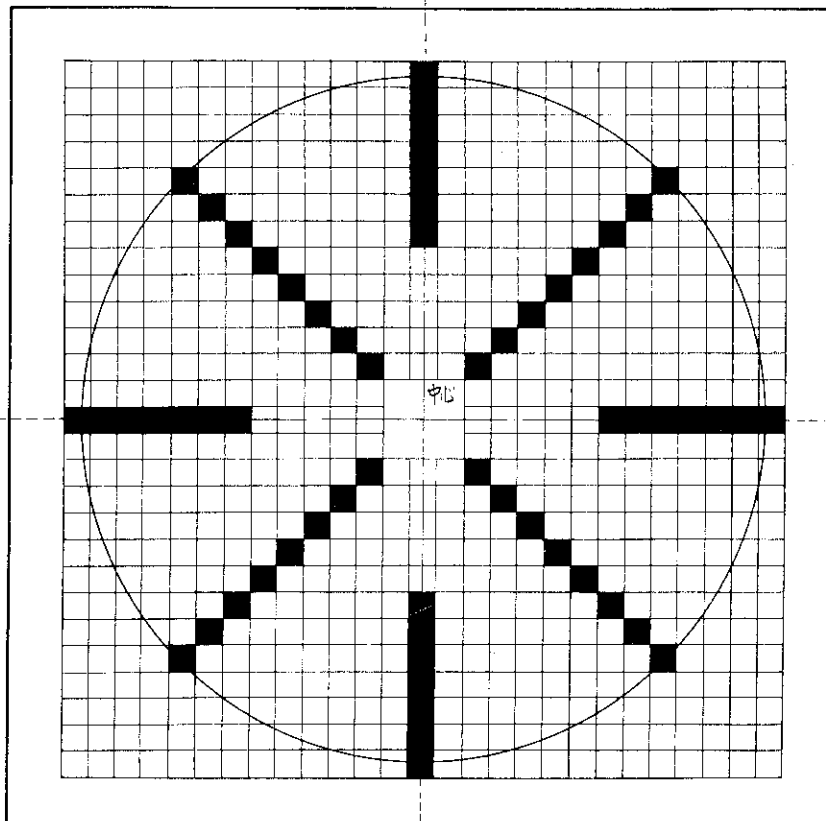


Fig. 72 制安棒駆動機構取付範囲

$$\text{○} = \square \times 3.8$$

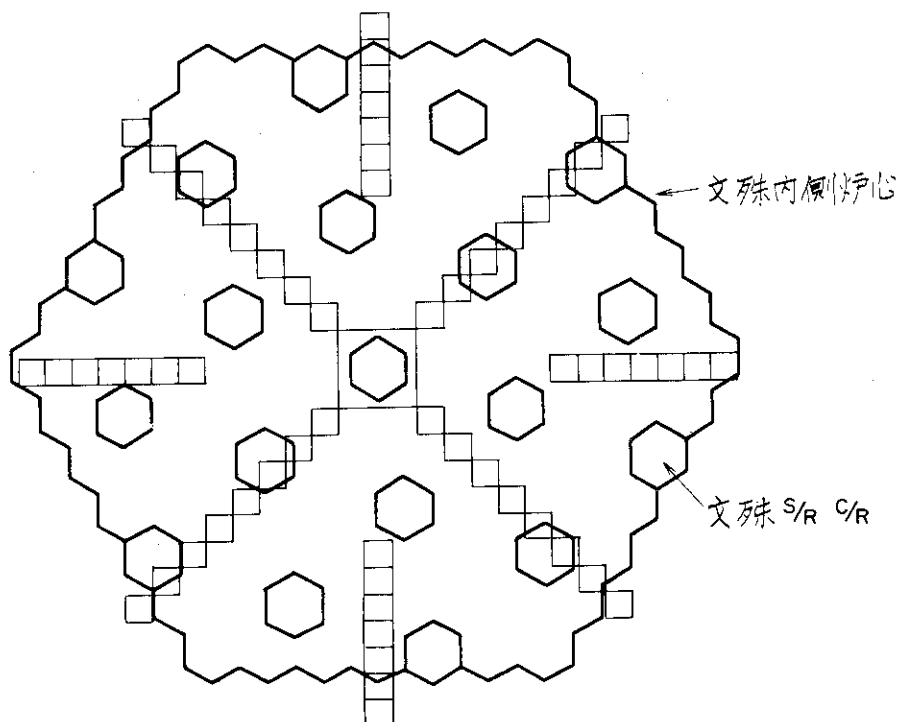
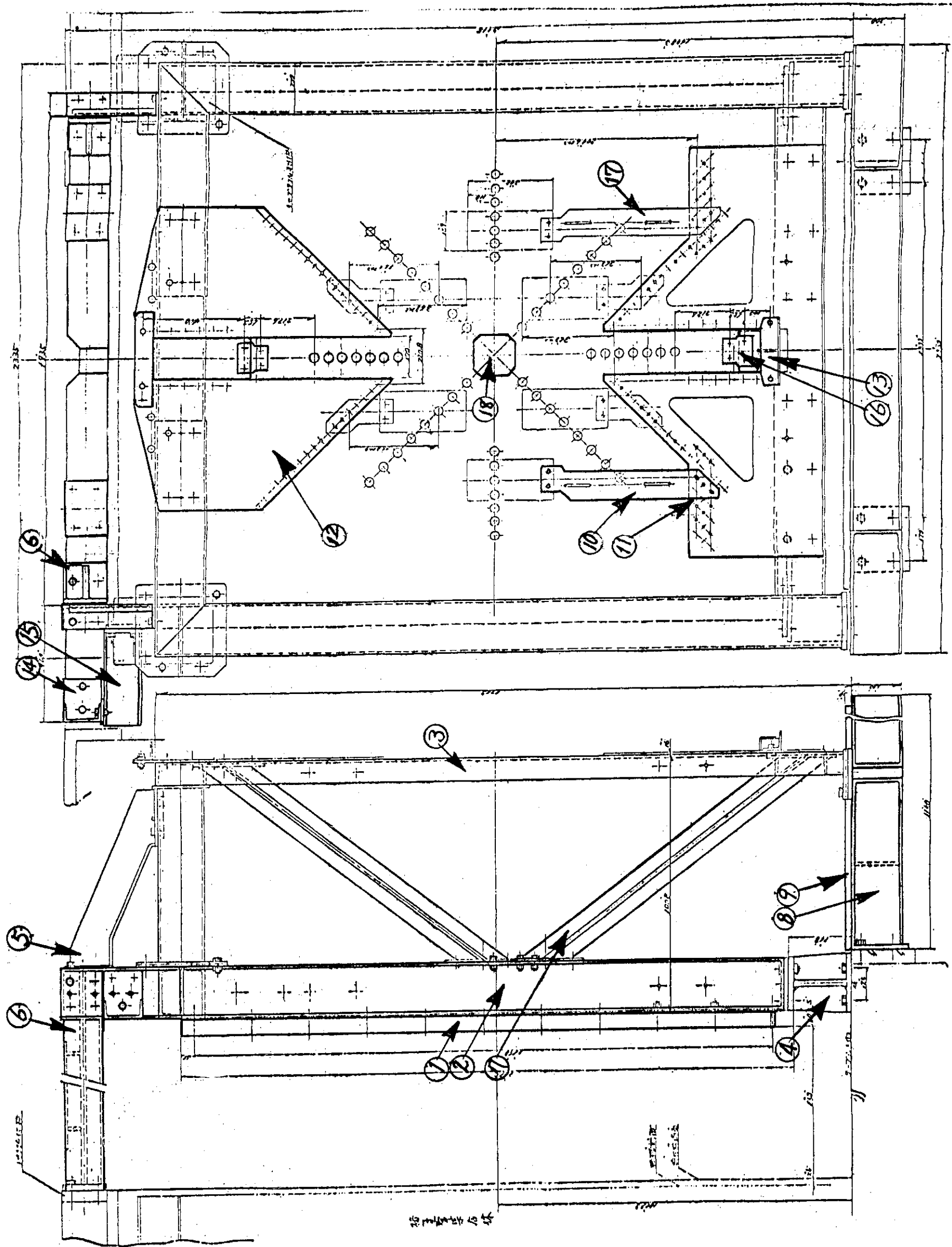


Fig. 73 文殊炉心と制安棒駆動機構取付範囲の重ね合せ図



番号	名称
1	主支板
2	支主板
3	支主台
4	支主台
5	ビーム (1)
6	ビーム (2)
7	ビーム (3)
8	受台
9	受台
10	固定金具
11	支主板
12	支主板
13	固定金具
14	ビーム (4)
15	サポート
16	取付金具
17	取付金具
18	開口部

Fig. 74 制御安全棒駆動機構支持板、支持枠

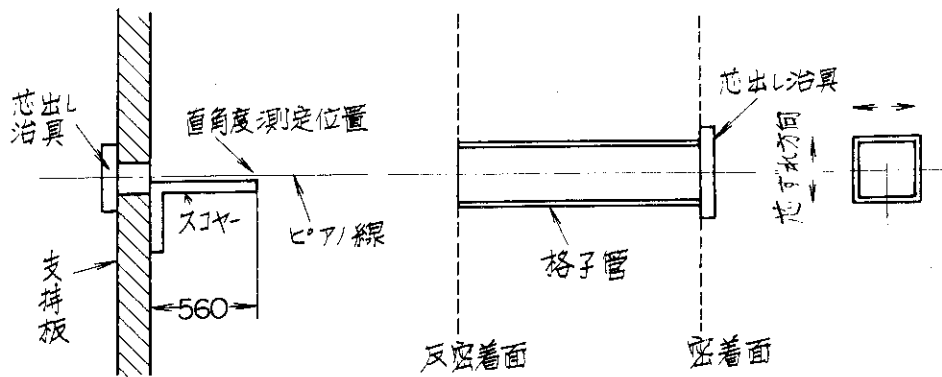


Fig. 75 制安棒据付孔の軸芯ずれ測定図

(#は駆動機構番号を示す) 無荷重時

組合せ	固定側		移動側	
上下	A-5 (#6)	C-10 (#14)	A-12 (#9)	C-5 (#1)
左右	B-16 (#10)	C-5 (#12)	B-14 (#11)	D-8 (#7)
対角(右上)	B-1 (#2)	D-16 (#4)	D-16 (#13)	
対角(左上)	D-1 (#8)		B-1 (#3)	C-12 (#5)

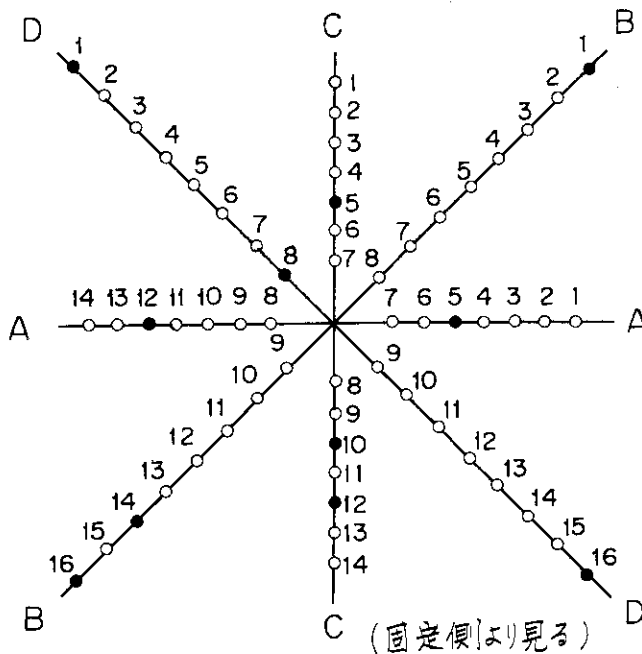


Fig. 76 制安棒駆動機構配置変更検査図

5. 炉心冷却設備

格子管集合体の拡張に伴ない、従来使用していた冷却室は寸法的に小さくなり51×51格子管集合体にあわせて新しく製作する必要が生じた。

しかし、炉心の冷却方式や冷却能力には変更が無いため従来からのモーター、ブロー等等は再使用が可能といえる。(参考文献3)

冷却設備の製作にあたり検討を行なった結果、次のような仕様内容を決定した。

1. 冷却設備全般

既設冷却設備は全て撤去し、格子管51×51列に改造後の炉心冷却方式は35行×35列時と同様とし、炉心部以外の格子管端部その他の開口部は気密用栓で密閉する。

2. 冷却室

既設の冷却室を解体し、51行×51列用冷却室を新設する。冷却室は冷却設備運転時の負圧に十分耐え得る強度を有し、既設冷却室と同様に出入用扉、採光窓、照明設備、実験ケーブル貫通孔、Puモニターサンプリング管継手を設ける。また格子管数の拡大に伴い気密栓を格子管拡大数だけ新製する。

3. 冷却系統機器

フィルターボックスは既設のものを使用し、移動側に設けられているブロー用消音ボックスは改造後も取付ける。風量調整用ダンパー弁は既設のものを使用し、移動側、固定側の送風機は既設のものを使用する。

このような仕様のもとでまとめられた冷却系をFig.77に示す。移動側は35行×35列のときと同様に冷却室の上部にフィルターや送風機が据付けられ、固定側も移動側と同様にフィルターや送風機が取付けられる。格子管拡張により冷却室の横幅が広がり、FCAの補助テーブル面を一杯に使用するため冷却室出入用の作業架台を移動側と固定側冷却室入口の床に設ける。

気密保持の為にシールはFig.78のように冷却室側の格子管集合体の外枠に沿って特殊構造のネオプレンゴムのパッキンをあてて、その上からおさえ板をしてネジ止めするようになっている。さらに格子管集合体密着面の移動側テーブルの前面、上部締付および側部締付枠の各々の前面にシール用のパッキンを口形にして接着剤で取付け、格子管集合体全体を囲んでいる。又実験孔等全ての孔は使用場所を除いて既設と同様のゴム栓を取付けるようになっている。

以上のように格子管集合体に対して前後から二重のシールをする事により十分な気密を保つようにしてある。

このような仕様決定により、冷却室等の外枠の工場製作後に現地に搬入され、格子管集合体と制御安全樞駆動機構支持板支持枠の組立完了後に現地組立てが行なわれた。組立て作業では特に冷却室気密保持のシール作業が入念に行なわれた。金属部分とパッキンとの接着はボンドを使用して行なわれ固定された。

冷却設備の組立完了後に性能試験を次のような内容で実施した。冷却設備の外観検査と寸法検査を行ない、性能確認として冷却風量測定試験を実施した。測定条件として、冷却する炉心の断

面積を約1 m ϕ 相当としてこれ以外の格子管は全てゴム栓で密封するものとし、又1 m ϕ 相当の範囲の炉心部の格子管には模擬物質を装填した引出しを装荷して通常運転状態の冷却空気が流れるようにした。冷却風量測定はFCA分離状態、密着状態の各々について行ない、冷却風速はFig. 79の場所で熱電風速計により格子管の風速を測定した。冷却室の気密性チェックとして漏洩試験を行ない、シール部に石けん水を塗布して気泡の有無を確認した。

このような内容で実施された試験結果をTable 29, Table 30およびFig. 80に示す。

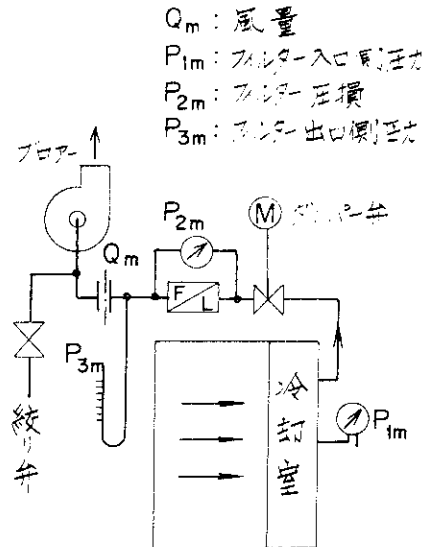
この結果から移動側及び固定側共にダンパー全開状態で30m³/mm以上確保され、密着状態でも45 m³/minとなっており、十分な冷却風量があると言える。さらに実際の炉心部の格子管を流れる冷却空気の風速から計算した冷却風量の数値と前者の数値とから総合して検討してみると風量は30m³/min以上あると推定でき、冷却能力は十分に保有しているものと考えられる。参考用として拡大工事完了後組まれたⅦ-1炉心の冷却設備運転状態から運転停止後8時間経過の温度状態を移動側についてFig. 81に示す。最大で38℃のところがあり、冷却設備を再運転すると2時間程で急速に下がり、ほぼ定常温度に近いレベルになって再起動して定常温度に達するまで約5時間かかっている。定常温度は炉室温度とほぼ等しく、炉心燃料は十分に冷却されていると言える。

既設ゴム栓が冷却室風圧のため脱落しやすい事に関して今回の拡大工事でゴム栓構造の改良が検討された。予算の都合上、既設と同型のゴム栓を製作せざるを得なかったが、参考のため付録1に図面を示す。構造は図面のようにゴム栓、押付金具より構成し、格子管内で押付金具によりゴム栓を押し広げ固定されると共に気密が得られるものである。

Table 29 冷却風量測定試験

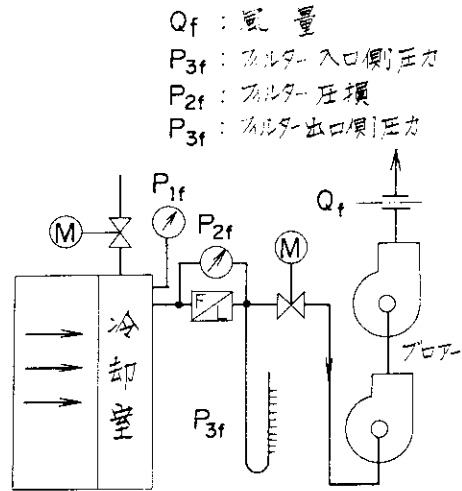
1. 移動側分離状態

ダンパー 開度 (%)	冷却室 風圧 (mm Aq)	フィルター 入口側風圧 (mm Aq)	フィルター 出口側風圧 (mm Aq)	風量計 風量 (m ³ /min)	吸込ダクト 風速 (m/s)	吸込ダクト 風量 (m ³ /min)
0	0	798.5	800	0	1.4	2.49
10	5	798.5	802	5	3.6	6.39
20	19	792.	801	10	7.8	13.85
30	49	758.5	778	20	13.5	24.00
40	97	672.5	705	30	20.0	35.50
50	147	584.	625	38	27.0	47.90
60	197	495.	544	45	33.0	58.60
70	220	427	483	50	35.0	62.20
80	236	428	484	—	36.0	64.00
90	244	415	470	—	36.0	64.00
100	246	412.5	468	—	36.0	64.00



2. 固定側分離状態

ダンパー 開度 (%)	冷却室 風圧 (mm Aq)	フィルター 入口側風圧 (mm Aq)	フィルター 出口側風圧 (mm Aq)	風量計 風量 (m ³ /min)	吸込ダクト 風速 (m/s)	吸込ダクト 風量 (m ³ /min)
0	0	2.0	4	4	1.4	2.49
10	2	3.3	7	7	3.1	5.51
20	10.5	17.5	25	12	6.6	11.72
30	28	45.0	58	19	11.5	20.4
40	52	85.0	105	26	16.0	28.4
50	76	122.0	148	31	21.0	37.3
60	89	146.0	175	33.5	21.5	38.2
70	98	163.0	194	35	22.5	40.0
80	102	170.0	202	36	25.0	44.4
90	104	176.0	208	36.5	26.0	46.2
100	104	176.0	208	36.5	26.5	47.1



3. 密着状態

ダンパー 開度	冷却室 風圧 (mm Aq)	フィルター 入口側風圧 (mm Aq)	フィルター 出口側風圧 (mm Aq)	風量計 風量 (m ³ /min)	吸込ダクト 風速 (m/s)	吸込ダクト 風量 (m ³ /min)
全開	2	772	794	0	1.4	2.49
半開	240	627.5	665	35	25.5	45.30
全開	380	508	556	45	33.0	58.61

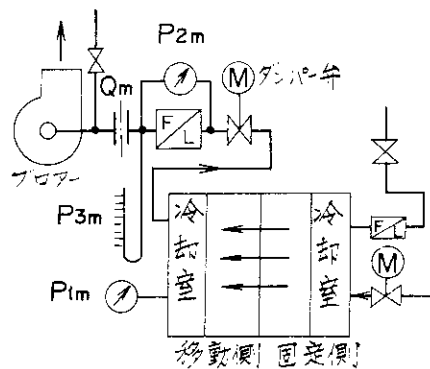
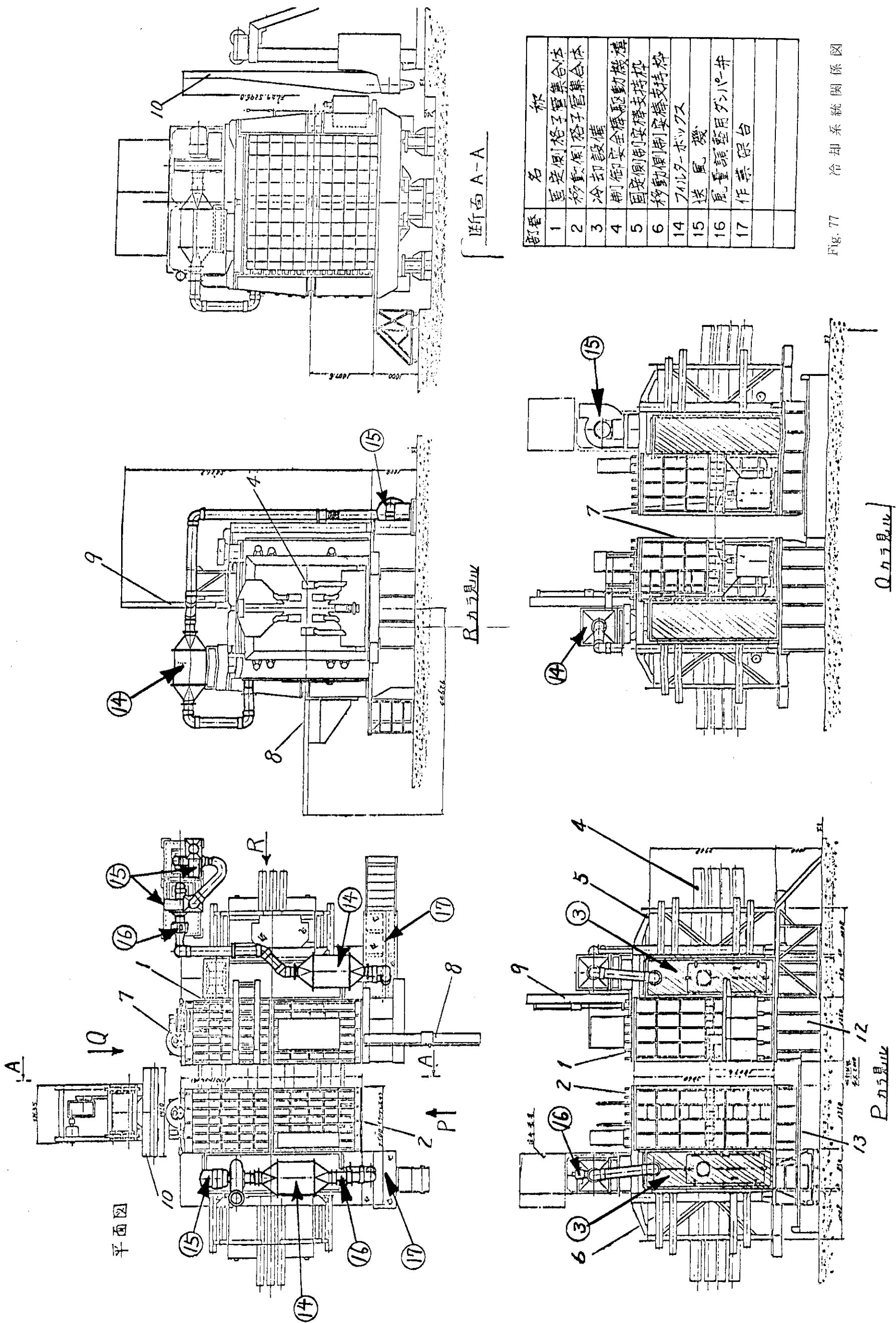


Table 30 炉心部冷却風速試験

測定場所 NO.	ダンパー開度 50 %				ダンパー開度 100 %			
	分離状態の風速		密着状態の風速		分離状態の風速		密着状態の風速	
	移動側 (m/s)	固定側 (m/s)	移動側 (m/s)	固定側 (m/s)	移動側 (m/s)	固定側 (m/s)	移動側 (m/s)	固定側 (m/s)
1	0.5	0.28	0.45		0.63	0.34	0.60	
2	0.5	0.24	0.45		0.62	0.32	0.57	
3	0.53	0.32	0.48		0.70	0.40	0.60	
4	0.54	0.22	0.46		0.72	0.30	0.60	
5	0.42	0.27	0.36		0.57	0.32	0.49	
6	(2.9)	(1.9)	(2.6)		(3.0)	(2.3)	(3.4)	
7	0.46	0.14	0.40		0.53	0.20	0.50	
8	0.40	0.29	0.36		0.54	0.38	0.48	
9	0.38	0.34	0.38		0.58	0.42	0.48	
10	0.45	0.21	0.40		0.58	0.27	0.55	
11	0.64	0.26	0.58		0.83	0.37	0.73	
12	0.40	0.27	0.36		0.50	0.33	0.50	
13	0.42	0.25	0.38		0.58	0.30	0.52	
14	0.35	0.31	0.32		0.50	0.42	0.44	
15	0.45	0.24	0.40		0.60	0.32	0.54	
16	0.46	0.24	0.40		0.60	0.33	0.55	
17	0.20	0.05	0.18		0.20	0.07	0.23	
18	0.62	0.33	0.52		0.62	0.50	0.70	
19	0.70	0.08	0.67		0.72	0.08	0.72	
20	0.05	0.08	0.07		0.25	0.08	0.08	
21	0.06	0.57	0.06		0.74	0.57	0.08	
22	(4.6)	(3.1)	(4.2)		(6.1)	(3.7)	(5.1)	
23	(20.0)	(14.0)	(20.0)		(26.5)	(17.0)	(25.0)	
24	0.68	0.26	0.40		0.62	0.32	0.55	
25	0.40	0.30	0.34		0.57	0.38	0.48	
26	0.43	0.24	0.36		0.60	0.30	0.53	
27	0.34	0.25	0.30		0.50	0.32	0.45	
平均風速	0.68	0.42	0.59		0.91	0.52	0.79	
冷却室風 圧(mmAq)	147	76	240		246	104	380	
フィルタ-1次 風圧(mmAq)	584	122	6275		4125	176	508	
フィルタ-2次 風圧(mmAq)	625	148	665		468	208	556	
風量計風 量(m ³ /min)	38	31	35		—	36.5	45.0	
吸込ダクト外風 量(m ³ /min)	47.9	37.3	45.3		64	47.1	58.0	
平均流速から の風量(m ³ /min)	308	19.1	268		41.3	23.6	35.9	

NO. 6, 22, 23 は実験孔の先端で風の流入が大きいため計算から除いた。



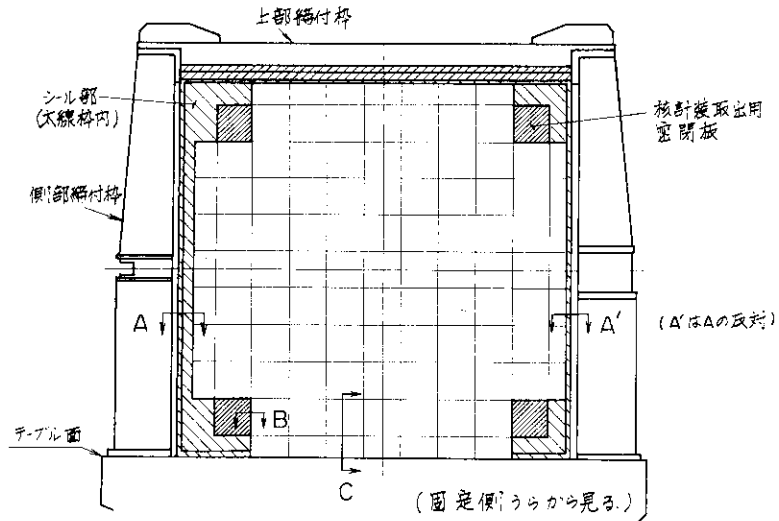
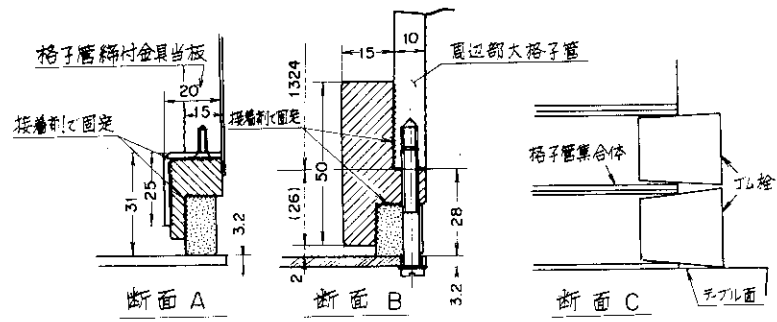


Fig. 78 格子管集合体冷却室側シール部パッキン取付図

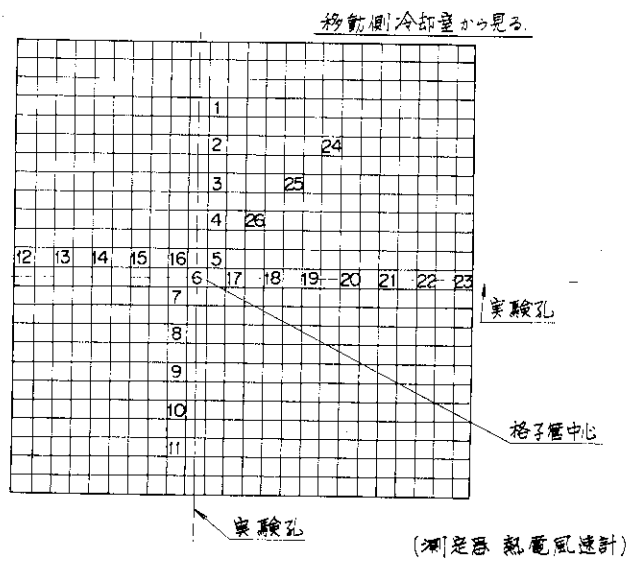


Fig. 79 格子管風速測定位置

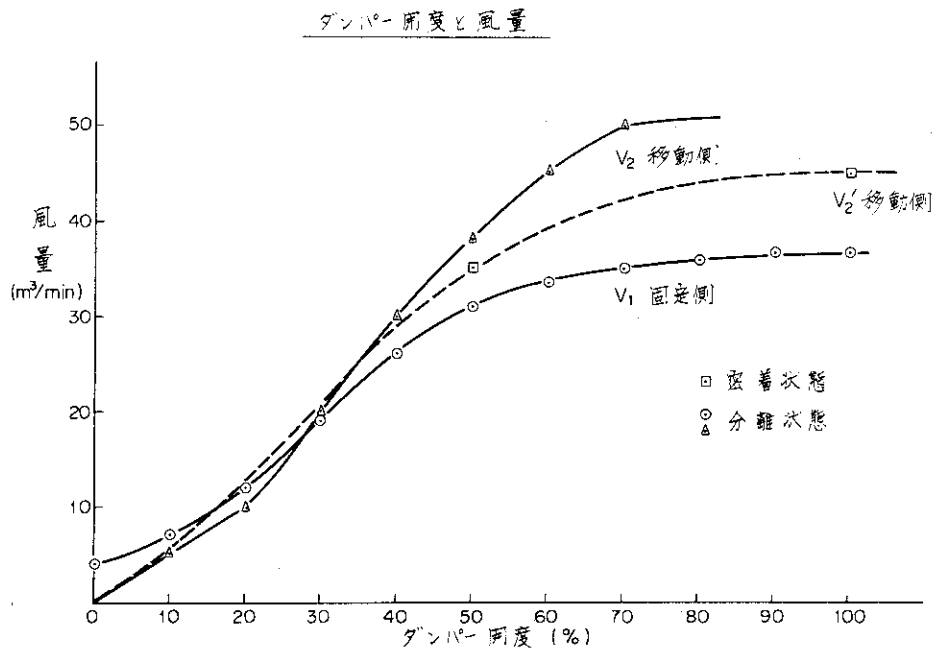


Fig. 80 ダンパー開度に対する風量特性

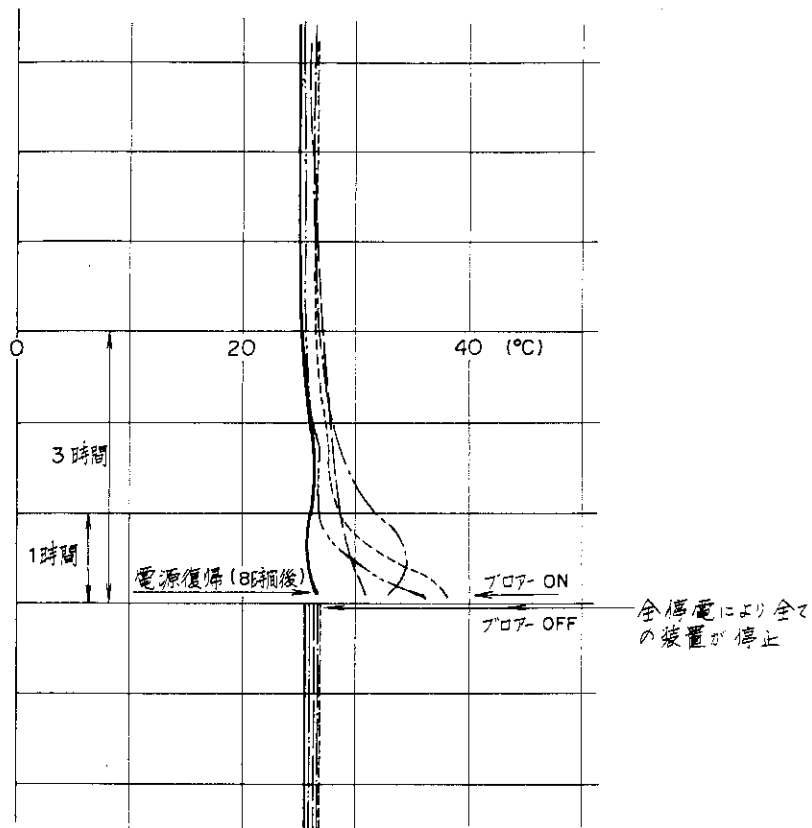


Fig. 81 停電時の炉心温度変化 (移動側)

6. 周辺構成機器

6.1 炉心内温度測定装置

FCAが設置されたときは、固定側集合体の密着面より60mm 軸方向に入ったところに感熱部をロー付したCA熱電対が半径方向に7点分布配置された。単格子管の内側四隅の1ヶ所に点状の穴をあけ（穴あけは5×5バンドル管製作時に行なわれ、単管の外側角部の集まる空隙に熱電対を挿入）固定側集合体反密着面より0.5φのCA熱電対を挿入し、これの感熱部をロー付した。反密着面より出たところで補償導線に接続され、1次、2次容器を経て制御室の温度記録計に接続された。この方式による測定は、20%濃縮ウランによる炉心が続けられている間行なわれ、その後プルトニウム燃料炉心が組まれる際にプルトニウムのα崩壊熱の冷却装置が追加され、移動側格子管集合体の軸方向に温度測定点が3点追加された。補償導線式が記録計側の温度変化により生じた欠点があったため、移動側格子管集合体をでたところで電圧-電流変換器により温度記録計に送る方式に変更された。また実験上の温度測定と同時に、プルトニウム燃料の温度監視も課せられ、警報レベルは40℃に設定された。

今回の拡張では大型炉心モックアップによる幾何学的寸法の増加に対応するため、セクター方式の炉心を主としてゾーン系炉心にも配慮し、固定側格子管集合体に半径方向分布として6点のCA熱電対が配置された。熱電対の位置決定で考慮されたことを以下に示す。

使用上の理由として

- (1) セクター炉心及びゾーン炉心との対応
- (2) 円筒炉心を基本とする半径と高さの大きさ。
- (3) 半径方向、軸方向の温度分布
(これは冷却風方向が集合体の分離時と密着時に違うことも含めて)
- (4) プルトニウム燃料板の温度測定
- (5) 炉心に装てんされる燃料、模擬物質の板、ブロックのユニット

製作上の理由として

- (1) 格子管集合体の中心に位置する単格子管がない。
 - (2) 格子管集合体の密着面より450mmの長さで3×3中心格子管が抜ける。
 - (3) 熱電対の挿入はバンドル管内であり、バンドル管との境界部は選択しない。これは集合体の組立時にバンドル管のアラインメントが必ずしも熱電対の挿入できる空隙を確保できるとはいえない。また挿入出来たとて経年変化により交換の保守が保証されない。不確定要素のある部分といえる。
 - (4) 熱電対を取付けようとする範囲内にあるバンドル管が5×5のユニットである。
 - (5) 熱電対は反密着面よりそう入されて取付られるため、1ヶ所で1測定点しかとれない。
- 以上より測定点の径方向、軸方向の分布、測定点間の距離を決めた結果、径方向測定点のうち1点が既設35×35格子管集合体のバンドル管より外れた。

径方向測定は固定側格子管集合体の密着面より60mmの深さに10点設け、移動格子集合体の密

着面より 145 mm のところに 4 点設けられた。

軸方向測定点は径方向測定点以外に、固定側格子管集合体の 295 mm, 595 mm に各 1 点, 移動側格子管集合体の 295 mm, 595 mm に各 1 点, これは密着面を狭んで対称の位置になる。

今回の作業では感熱部の単格子管に対するロー付は行なわなかった。新規作業バンドル管に入る熱電対が 1 本で他は旧バンドル管に入り, ロー付の為の穴あけ加工は既製バンドルでは困難である。又今までの熱電対の断線等による交換保守の経験から炉心の温度測定は可能であると判断した。

格子管集合体の反密着面よりでた熱電対は, 隣り合う単格子管の肉厚 2 mm の端面に沿って上部に集めた。

反密着面側の実験および保守作業による熱電対断線から保護するために保護管を肉厚 2 mm の端面に接着しこの中を通すことを考えたが, 適当なシース管がないことと工数より結局熱電対のシース管を端面に直接ロー付する方法がとられた。原則として単格子管ユニットのピッチでロー付した。

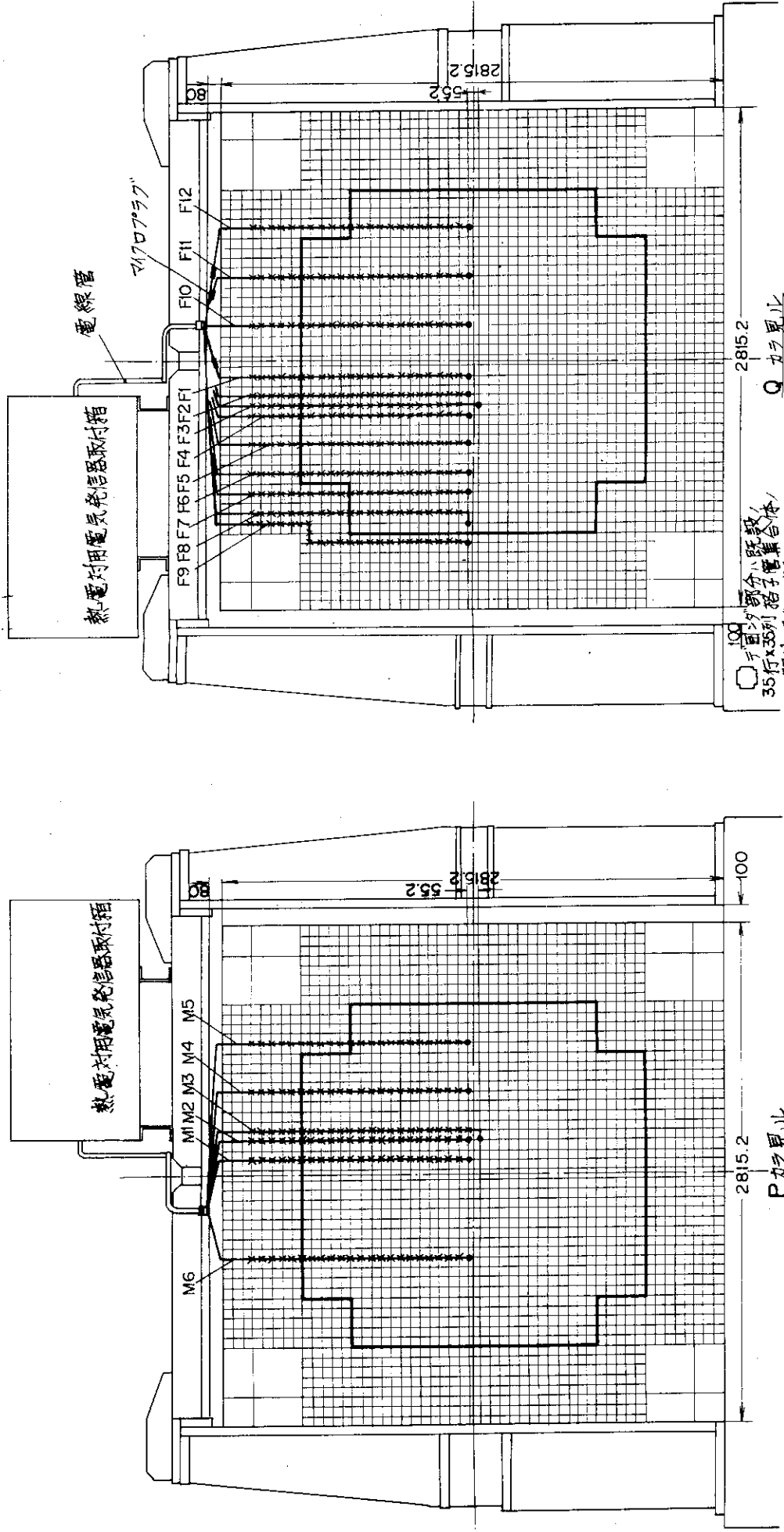
熱電対毎にマイクロプラグにより補償導線に接続され, 冷却室天井に設けられた防爆型気密フランジを貫通して格子管集合体上部締付枠上に置かれたテレパーム電気発信器に接続された。移動側格子管集合体上部に 6 台, 固定側格子管集合体上部に 12 台のテレパーム電気発信器が置かれ電流変換されたものが, FCA 設置時に設けられた制御回線を使用して FCA 制御盤内に設けられたディストリビューターに入力される。ここで電流-電圧変換され打点式多点記録計に入力される。記録計は移動側として CORE TEMP.(M) 6 点, 固定側として CORE TEMP.(F) 12 点であり, 記録計表示は 0 ~ 100 °C とした。熱電対を含めた総合精度は ± 1 °C である。

打点式多点記録計よりの炉心温度の読みとりは, 各人による読み取り誤差があり, 又実験によってはこれが実験精度にかかるものがある。通常実験上の炉心温度測定は相対値の利用である。以上に鑑み, 00, 00 ~ 100.00 °C を表示するデジタル温度表示器を設けた。表示器の精度は $\pm 0.3\%$ であり, 費用と読み取り誤差をなくすことから出発したこととあわせて, 0.01 °C までの精度を求めることはしなかった。又実験上必要とする 0.1 °C の桁の数値に対して有意な精度と十分なデジタル表示による桁数である。デジタル温度表示は, 移動側, 固定側用に各 1 台ありディストリビューターの出力より多点記録計と共に並列に接続される。温度測定点の表示撰択は手動による撰択切換スイッチにより行なわれ, 撰択された測定点のみが表示される。同時にデジタル表示が行なわれる測定点は移動側, 固定側各 1 点となる。数字の表示はニクシー管による。

FCA における実験, 測定の自動化に合わせ, デジタル温度表示器にデジタル出力を付加しコンピューターによるデータ収集が行えるように配慮された。

出力は TTL レベルによる BCD コードであり, 移動側, 固定側出力はそれぞれコネクターより出力されるが信号の同期と移動側, 固定側の判別のためにそれぞれに READY 信号を設け, 時間差をもたせた。表示および出力サンプリング時間は約 300 ms の固定方式である。又表示される数値は, 一つの前の表示値に対して変化した数値, 桁のみがリセット, セットされるため, FCA のようなゆるやかな変化の測定体系では, 表示に煩雑さは感じられない。

打点式多点記録計は温度監視用に警報レベルが 40 °C に設定され, 各測定点に対応してリレー式の警報メモリがあり, 当該測定周期ではリセットされない。



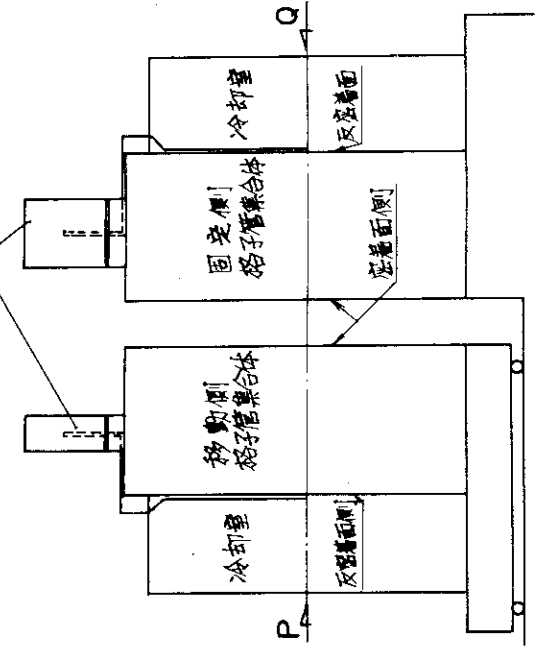
径 L(mm)	径 L(mm)	径 L(mm)
F1 595	F7 60	M1 595
F2 60	F8 60	M2 145
F3 295	F9 60	M3 295
F4 60	F10 60	M4 145
F5 60	F11 60	M5 145
F6 60	F12 60	M6 145

P カラ見丸
(反逆着面側) (固定側)
(移動側)

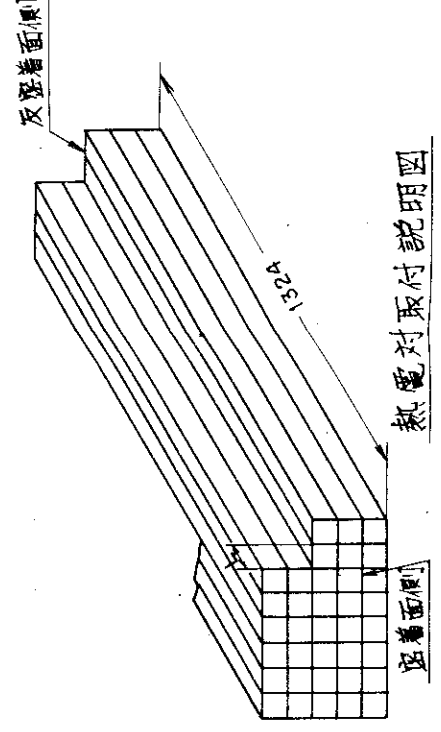
熱電対用電気絶縁器取付箱

Q カラ見丸
(反逆着面側) (固定側)
(固定側)

35行x35列格子管集合体
解体再組立部を示す



FCA格子管集合体
概略説明図



熱電対取付説明図

Fig. 82 熱電対取付配置図

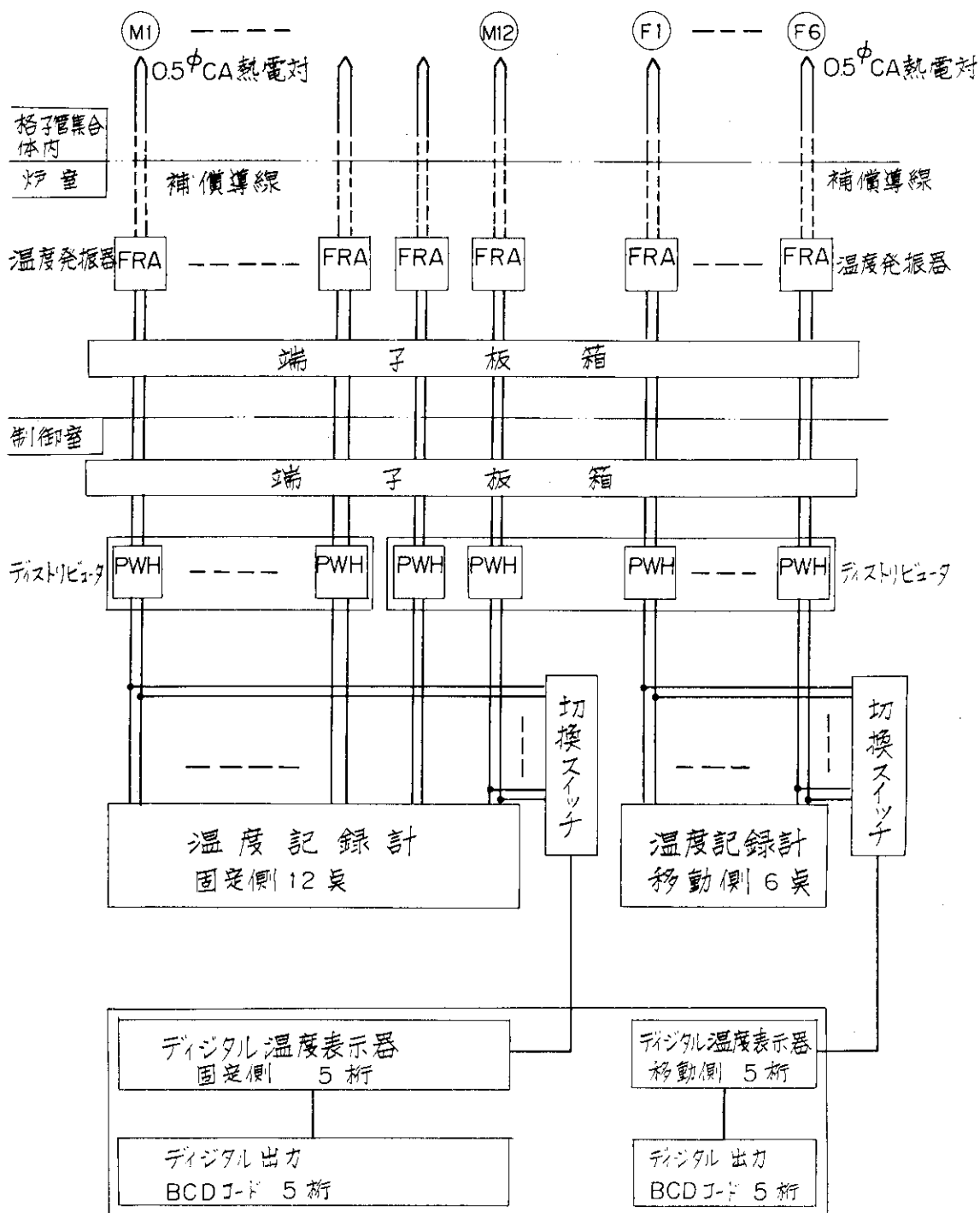


Fig. 83 炉心内温度測定装置ブロック図

熱電対(CA)取付位置	温度記録計(°C)
固定側炉心温度 F1	22.9
“ F2	22.2
“ F3	22.4
“ F4	23.2
“ F5	23.1
“ F6	22.8
“ F7	22.3
“ F8	23.1
“ F9	22.0
“ F10	21.8
“ F11	23.5
固定側炉心温度 F12	23.0
移動側炉心温度 M1	22.0
“ M2	23.0
“ M3	22.7
“ M4	22.2
“ M5	22.7
移動側炉心温度 M6	22.6

測定条件

日時 1975. 7. 4. 16:10~16:25
 室温 制御室 25.6°C (棒状温度計)
 炉室 21.2°C (“)
 炉心出口温度
 固定側 21.1°C (測温抵抗体)
 移動側 21.7°C (“)

Fig. 84 炉心温度 (格子管集合体無装荷時)

測定日 S 50.9.12. 金
測定者 山岸, 小川

▽11-1炉心温度係数測定

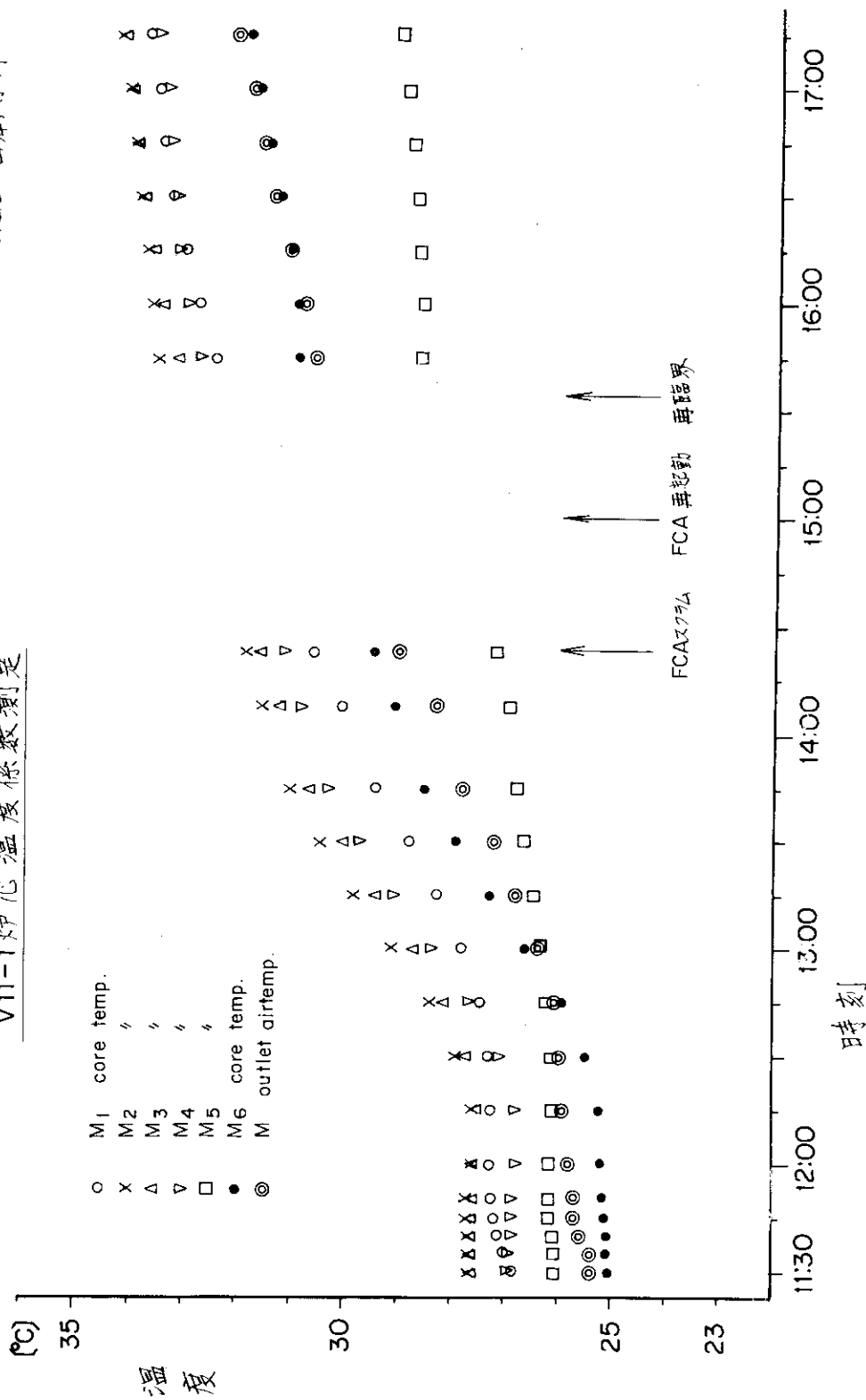


Fig. 85 移動側炉心温度 (M1~M6)

測定日 S. 50912 金
測定者 山岸 小川

VII-1 炉心温度係数測定

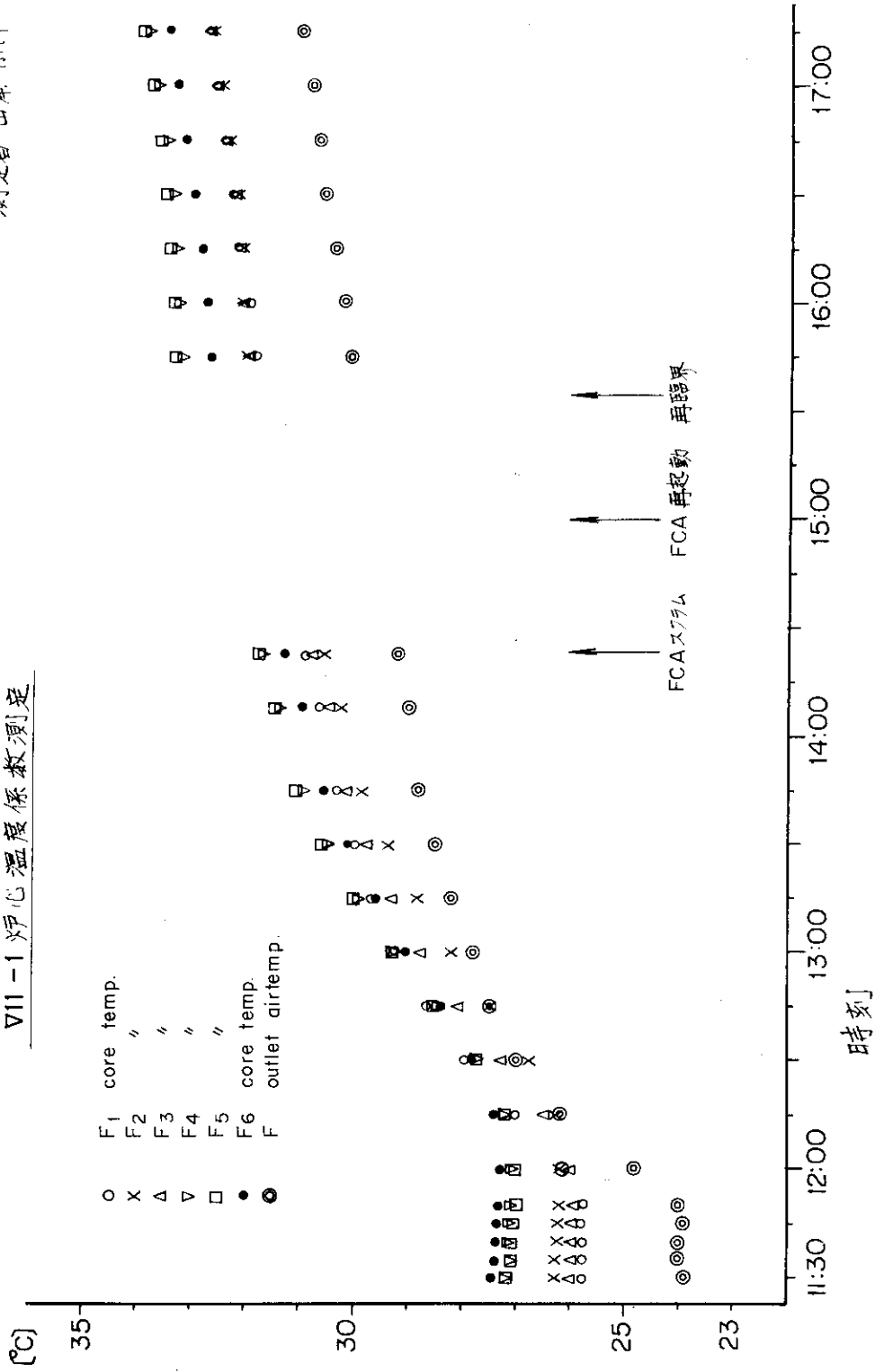


Fig. 86 固定側炉心温度 (F1~F6)

測定日 S.50.9.12.金
測定者 山岸,小川

▽II-1 炉心温度係数測定

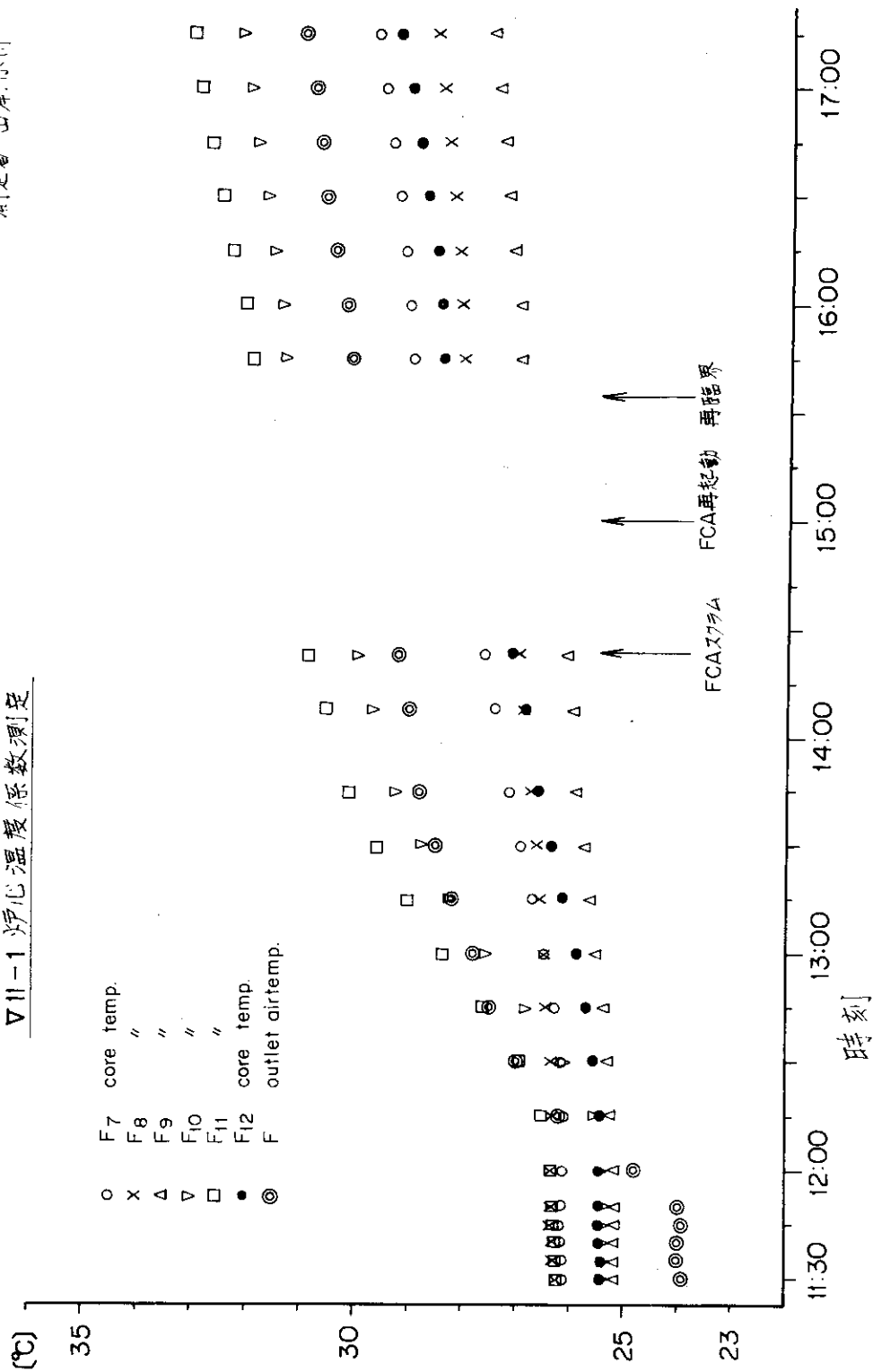


Fig. 87 固定側炉心温度 (F7~F12)

6.2 核計装および周辺付属機器

1. 核計測装置

FCAにおける核計装は、起動系、対数出力及び炉周期系、線型出力系、安全系の同一回路方式による各2系統よりなる。ただし起動系2系統のうち1系統は非常系を兼ねており、線型出力系の1系統は自動制御用の出力がとられている。格子管集合体の四隅に配置されている大格子管内に検出器が設置され、移動側、固定側対称位置に同じ系統がある。検出器より制御室の増幅器までは低雑音同軸コードにより接続されている。制御室内のユニットは高圧低圧電源ユニットと増幅器、記録計よりなり、各2系統ずつパネルに取付である。

拡張工事により、格子管集合体の半径方向の拡大に伴い検出器に接続されている高圧と信号の低雑音同軸コードの延長を必要とした。これは不足長さをコネクタ接続により延長することで解決した。また検出器が置かれることによりプルトニウム燃料の冷却装置による空気の流路としては、あってはならない。既設のものは、検出器の感度調整のための位置変更、保守により、作業毎に気密を保つためゴム材の充てん剤によっていた。今回はこのような煩雑さを避けるようゴムパッキンに工夫された。

検査、試験は始め、核計装の単体性能検査を始めFCA6ヶ月定期点検及び既設時の検査、試験に準じて行なうことを考慮した。しかし拡張工事による変更が検出器の再取付作業に限られること。又費用と時間、現在までの保守状況より、性能確認検査を主体とすることに決定した。

試験は同軸コードの導通、絶縁試験、高圧電源のドリフト試験、中性子源による動作確認試験などが行なわれ、高圧電源のドリフト試験において安全系の1ユニットが0.1%/8時間に対して0.27%/8時間と悪かった。

今後の問題として、増幅器の初段に真空管を使用したトランジスタ回路であること、又実験側の要求による自動化によるデータ収集、運転監視・記録の自動化などの要求に対応すべく、現在の進んだ回路素子および回路に更新する時期に来ていると考えられる。

2. 位置測定装置

本装置は固定テーブルに対する移動テーブルの位置を指示する装置で、距離を表示する3系統と格子管集合体の密着の程度を表示する1系統とから成る。

a. 移動テーブル0～100mm位置測定装置（PT-1系）格子管集合体の密着状態を0mm位置までを0.01mm位置として、100mm分離位置までを0.01mm単位のデジタル表示を行なう。ここでとられている方式は、差動トランスによりパルスモーターサーボ機構を動かし、光電式パルス検出器によりパルスの積算計数を行う相対移動量検出方式である。テーブルの往復動の可逆カウンターにより表示する。

b. 移動テーブル0～2000mm位置測定装置（PT-3系）

密着状態を0mm位置とし、完全分離状態の2000mmまでを0.1mm単位でデジタル表示を行なう。

機械式A/Dコンバーターの付けられたスクリーネジをテーブルの往復動により駆動し、絶縁移動量として表示する。

c. 移動テーブル0～2000mm位置測定装置（PT-2系）

テーブル駆動軸に取付けられた通常のセルシン装置により、0.1mm単位でアナログ表

示を行なう。

d. テーブル密着度 4 隅測定装置

水平 2 分割型の臨界実験装置としての特異性から、炉心が中心より 2 分割されて、密着時の絶縁距離、その再現性が炉物理量に対して意味を持つことになる。格子管集合体締付枠の上部 2 隅とテーブルの 2 隅に差動トランスが矩形に配置されている。初期設定はマイクロメーターにより行なわれる。出力はメーター表示 ($\pm 5 \text{ mm}$, $\pm 0.5 \text{ mm}$, フルスケール) と、デジタル電圧計より 5 mm , 0.5 mm レンジ切換により、 $\pm 0.5 \text{ mm}$ レンジで 0.001 mm 単位で表示できる。

今回の拡張工事においては、移動テーブル位置測定装置 3 系統は何ら手を加えられることはなかった。しかしテーブル密着度 4 隅測定装置は、格子管集合体の上部 2 隅の検出器が集合体の拡張に合わせて取付位置が変更され、またテーブルに対する荷重の増加より初期設定の調整を必要とした。以上に鑑みて検査、試験が行なわれた。

検査・試験の考え方として、最初移動テーブル位置測定装置に関しては、個々の装置の単体性能検査を考えたが、費用、時間とメーカーの取組みなどから位置指示精度試験を主として行なった。試験結果としては、PT-2 系は問題がなく、PT-3 系に於いては、 60 mm 位置と 200 mm 位置が特異点として誤差が大きく、 200 mm 位置で -0.14 mm である。又、実験上の理由と、製造上の問題より、 $0 \sim 300 \text{ mm}$ 間は $\pm 0.1 \text{ mm}$ 以内、 $300 \sim 2000 \text{ mm}$ 間は $\pm 0.1 \text{ mm}$ に近いことが絶縁位置精度として要求されているが、結果は満足している。又移動テーブルの近接移動時と分離移動時とは、 $0 \sim 300 \text{ mm}$ 間では分離移動時の位置表示は 1 桁精度が悪く $300 \sim 2000 \text{ mm}$ 間では近接、分離移動共に同様の値を示している。

PT-1 系においては、光電検出部、パルスモーターサーボ機構、デルタミニコムなど主要機器に経年変化による老朽化がみられ、又過去のトラブルから試験結果は悪く、補償する精度は 0.1 m/m であり、本来の精度である 0.01 mm にはおよばない。結果として現在までの使用に対してオーバーホールなどの保守がなされてないことを考慮すれば肯定できる数値であり、今後何らかの保守、例えば、装置のオーバーホールまたは測定方式を含めた更新が考えられる。

テーブル密着度 4 隅測定装置は、較正用治具のマイクロメーターにより個々の差動トランスのストロークに対するスパン較正が行なわれ、テーブル密着時を零点として、移動側格子管集合体につけられたマイクロメーターにより初期設定が行なわれた。測定点は CH. 1 ~ CH. 4 に符号されており、試験結果として、CH. 4 の直線性が -2.2% 悪く、他は $\pm 1\%$ 以内の許容値になっている。しかしながら、変換部、増幅部など真空管を含め部品の劣化が目立つためオーバーホール又は半導体回路への更新が必要である。

3. 中性子カウンター駆動装置

本装置は拡張工事に際し改造等の仕様変更はなく、工事による取外しおよび拡張された格子管集合体に対して適合しうる取付工事が行なわれた。又性能の維持という見地から確認検査、試験が行なわれた。次に装置仕様の概要と試験について述べる。

(1) 装 置

格子管集合体（固定側）に付属する実験装置で、制御室からの遠隔操作により小型の中性子検出器（核分裂計数管、BF₃計数管、半導体計数管など）を格子管集合体に設けられている実験孔の任意の位置に挿入し、この点における中性子束スペクトルなどを測定し、完全引抜きにより他の任意の実験孔位置の測定をする機能を有する。又 1/2 格子管集合体の水平半径方向及び垂直半径方向の実験孔群に対して 1 組つつ備える。以下に 1 組の概要を述べる。

a. カウンター支持棒

カウンターを先端に装着しそれを実験孔内へ挿入するための支持棒。

b. 径方向駆動機構

カウンターおよびその支持棒を自由に実験孔内で移動（トラバース）し任意の位置で停止させる機構。

カウンタ、支持棒及び径方向駆動機構を合せてカウンタトラバース用ユニットと称呼している。

c. 軸方向移動機構

カウンタ及び支持棒が完全に実験孔から引抜かれた状態でカウンタ・トラバース用ユニットを集合体の軸方向に平行に移動させ他の実験孔で又トラバースを行なわせる機構。

d. 支持機構

上記の機構を格子管集合体側部締付枠又は上部支持枠上に固定、保持する機構。

e. 制御機構

駆動機構、移動機構の制御およびそれに関連する位置指示に必要な機構。

径方向駆動機構の挿入引抜き速度は、高速 10 mm/s 低速 2 mm/s の 2 段に切換えられ、停止位置精度は ± 0.5 mm であり、位置表示精度は ± 0.1 mm である。又、径方向駆動機構の挿入引抜きストロークは絶対値で 1898 mm ある。

(2) 検査・試験

下記の項目について行なわれ、良好な結果であった。

a. 組込外観検査

b. 電氣的動作試験

c. 性能試験（動作確認試験）

軸方向運転試験

半径方向運転試験

尚、今後に改造を要する点は、半径方向駆動機構の駆動ストロークである。今回の拡張工事においては、51×51格子管集合体の駆動ストロークに改造されなかったため、集合体の一方の端部より他方の端部までのトラバース測定は 2 回に分けて行なわれる事になり、将来測定の自動化が行なわれる場合には障害となり、自動化の意義を半減する。しかしながら、文殊のセクター方式によるモック・アップ炉心においては、一応必要ストロークは満たされている。

4. 中性子源駆動機構

この機構は、臨界実験装置を起動する際に炉心に中性子源を挿入するためのもので、固定側、移動側格子管集合体側部締付枠に各 1 組つつ取付けられ、制御室より遠隔操作により、炉心の中心あるいは任意の位置に挿入される。常時はパラフィン格納容器内に収納されている。

中性子源

核種	Am - Be
強度	5 キュリー
数量	2 個 (合計 10 キュリー)
容器	10 ϕ mm \times 50mm のステンレスカプセル

(1) 中性子源駆動装置

この装置は、中性子源の引抜き挿入のための駆動部と格納部よりなり、フレキシブルシャフトの先端に取付られた中性子源カプセルが、駆動モーターによりプーリーを介して駆動する。格納容器の頂部に半内形の電動遮蔽扉があり、挿入、格納時に開閉する。また、フレキシブルシャフトはこれ用の収納管内を移動する。又格子管集合体内の挿入引抜きのために、これ用にガイドチューブが設けられている。

中性子源の 1/2 格子管集合体への完全挿入及び格納容器への完全格納は、所定の位置に ± 3 mm の精度で行なわれ、完全挿入と完全格納は制御盤上にランプ表示される。操作ストロークに対する位置指示器は付いていない。挿入引抜き速度は約 200 mm/20 秒である。

(2) 中性子源挿入位置

a. 半径方向

集合体中心単格子管と同一水平面上にあり、集合体密着面より見て、中性子源格納容器が設置されている側に中心単格子管から 1 つの単格子管を隔てた単格子管内におかれる。これが完全挿入位置となる。

b. 軸方向

格子管集合体密着面より 122.8 mm 及び 224.4 mm の位置に挿入される。これにより中性子源挿入位置を変えることができる。

今回の拡張工事では、格子管集合体の半径方向の寸法の増大に合わせて、フレキシブルシャフトの更新、これ用の収納管の延長及びガイドチューブの新規製作が行なわれた。中性子源挿入位置は、35 \times 35 格子管集合体に同じく、半径方向は中心単格給管から 1 つ単格子管を隔てた単格子管内におかれる。又軸方向も同じく 2 ケ所に挿入される。中性子源駆動機構は工事に際しては取外し、再取付が行なわれた。従って検査・試験は性能維持という面より行なわれた。検査・試験項目を下記する。

○組込外観検査

○性能試験

リミットスイッチの動作確認

停止位置測定

挿入引抜き時間測定

移動速度測定

動作確認試験

格納容器扉の開閉時間測定

中性子源の完全挿入位置における停止位置測定結果は、最大 0.6 mm のズレであった。挿入引抜き時間はストローク、2722mm に対して 270 秒である。移動速度測定は 200 mm の単位長さを

Table 31 径方向单格子管

(単位mm)

材 質		SUS 304
寸 法	対辺寸法	55.2 ±0.2 x 55.2 ±0.2 *
	全 長	3665.2
	肉 厚	1.0

⊗ B-B 断面部 53.2 ±0.2

Table 32 51×51 格子管集合体用トップラー引出し

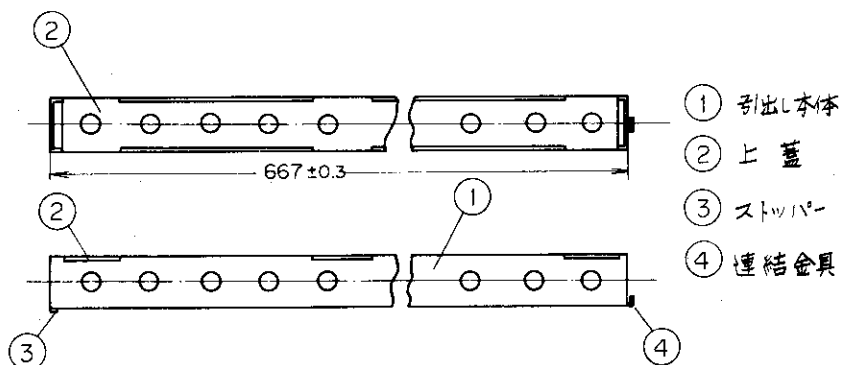
(単位mm)

材 質		SUS 304
寸 法	対辺寸法 (外辺)	53.9 ⁰ _{-0.4} x 53.5 ⁰ _{-0.4}
	" (内辺)	50.9 ⁰ _{-0.4} x 52.0 ⁰ _{-0.4}
	全 長	1977.0 ±0.5
	肉 厚	1.5
	内 角	0.2 R 以下

Table 33 51×51 格子管集合体用中心引出し

単位mm

材 質		SUS 304
寸 法	全 長	667 ±0.3
	内寸法 (巾)	51.1 ⁰ _{-0.3}
	" (高さ)	51.7 ⁰ _{-0.3}
	肉 厚	0.8 および 1.8
	内角 R	0.4 R 以下
	端面直角度	90° ±6'



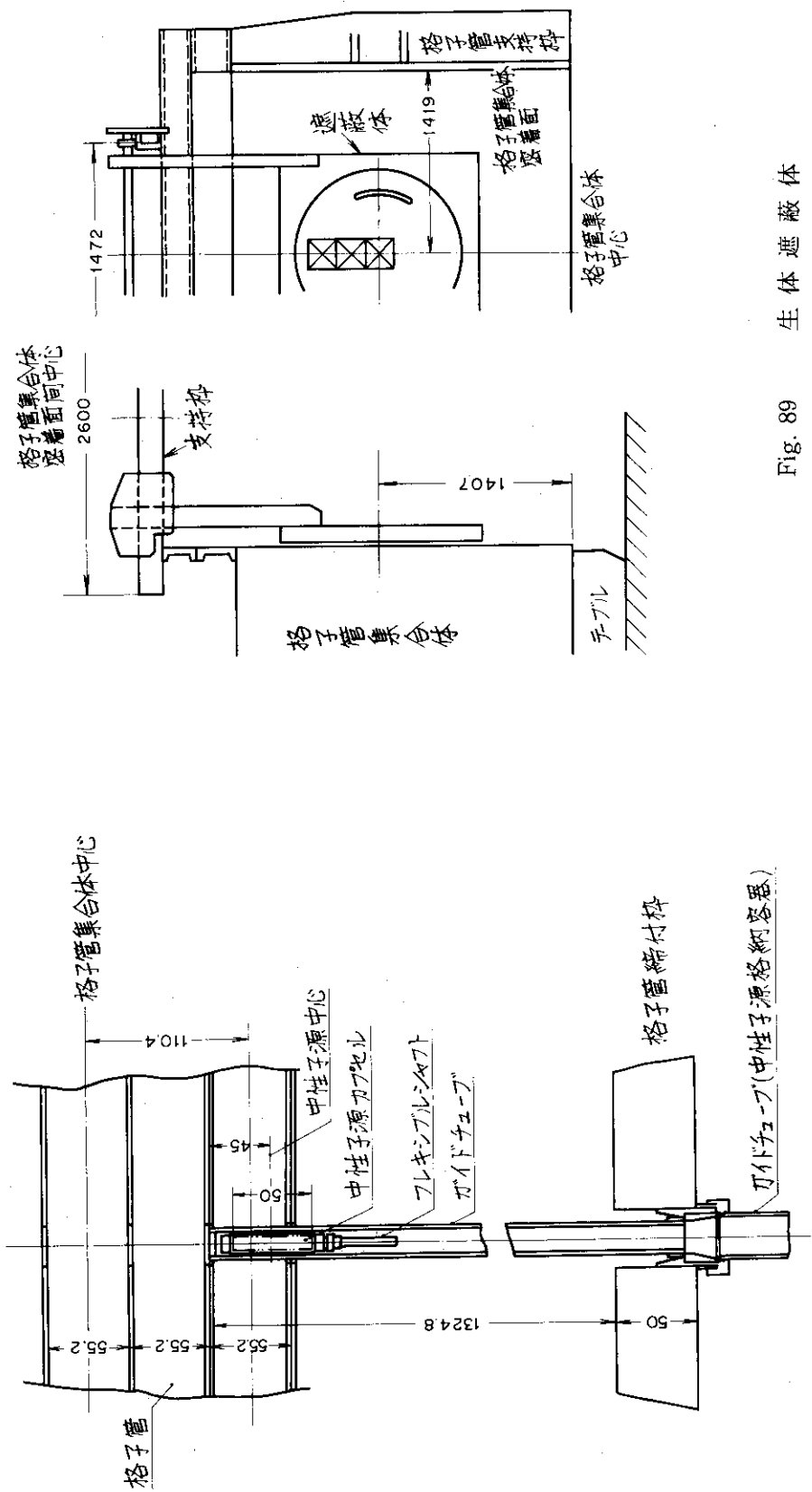


Fig. 89 生体遮蔽体

Fig. 88 中性子源完全挿入位置図(断面図)

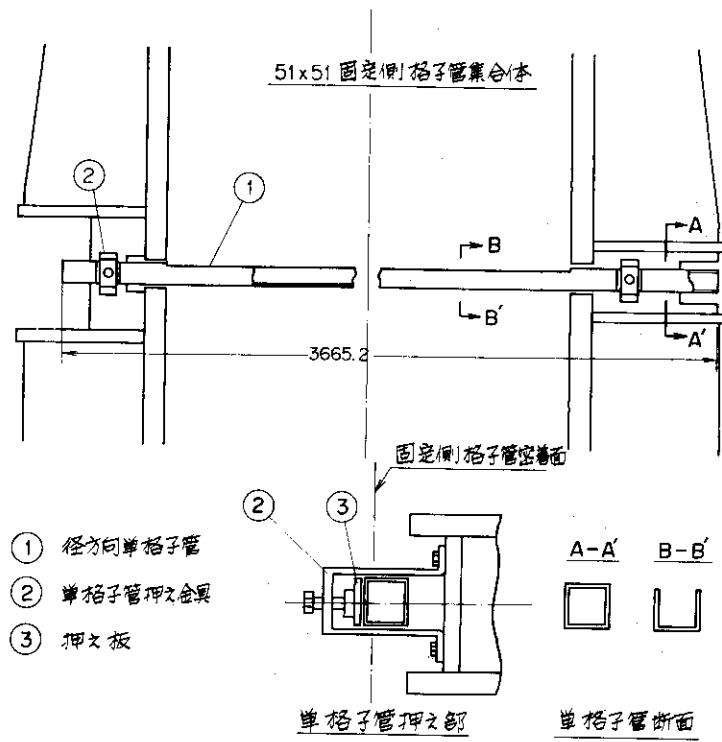
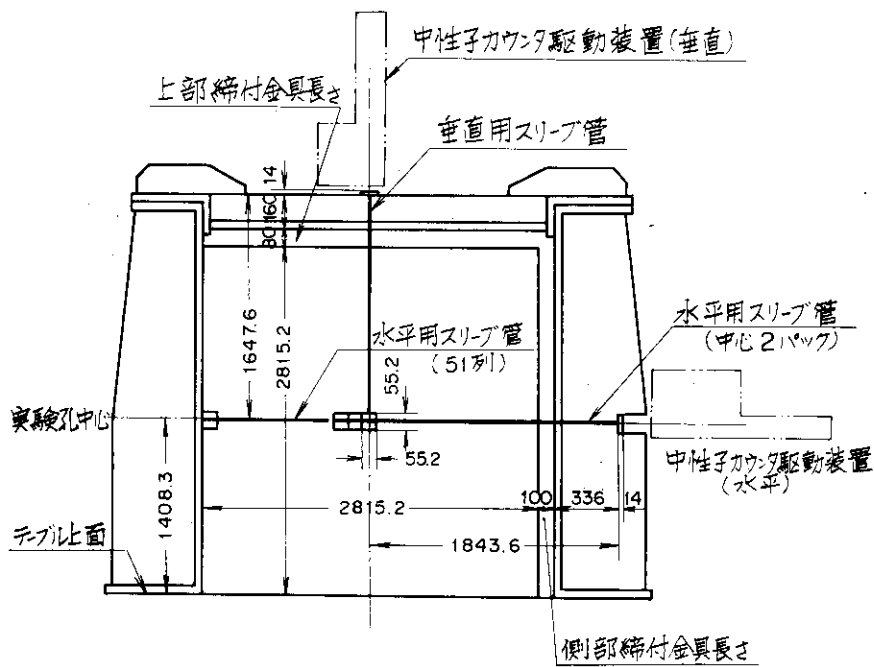


Fig. 90 51×51 格子管集合体取付図



固定側格子管集合体を密着面より見る
移動側は本図と勝手遣となる。

Fig. 91 スリーブ管装着図

中性子源が通過する時間を測定した。これは測定できる位置 1433mm より完全挿入位置の 2722 mm 間の 8 点で行なわれた。挿入引抜きともに平均値で 200 mm/20 秒である。

検査・試験は中性子源カプセルをダミー・カプセルに置き換えて行なわれ、中性子源駆動機構に係わる検査・試験終了後に中性子源カプセルの取付が行なわれた。

5. 生体遮蔽体設備

生体遮蔽体設備は、プルトニウム炉心系の実験開始時に設置され、ナトリウム・ボイド係数測定や炉心組成を変更しての反応度の測定などは通常臨界状態で行なわれ、模擬燃料などの位置あるいは組成を次々と変えることにより行なわれている。FCAは水平2分割型の臨界実験装置であるために、炉心での変更作業は固定側移動側の各1/2格子管集合体が2m分離された原子炉停止状態で行われる。作業者は各1/2格子管集合体の間に立つことにより、臨界になった後での作業ではかなりの被曝は避けられないために生体遮蔽体設備を使用することにより被曝量を押えることがはかられた。しかし本設備を使用することにより作業時間が若干長くならざるを得ないので、使用については推定積算被曝線量によって撰択使用されている。

本設備は固定側および移動側各1/2格子管集合体の密着面に対する遮蔽体、これを支える支持枠、格納時の取付台よりなる。

a. 遮蔽体

ポリ板、ポリエチレン板、鉛板、普通鋼板より構成される。

b. 支持体

各1/2格子管集合体の上部締付枠にまたがって渡される支持枠とこれより生体遮蔽体を支持する枠（ローラーにより支持枠の中央に寄せることにより、装着、運搬、格納を容易にしている）とからなる。

格子管集合体の拡張に伴い、生体遮蔽体設備の改造が行なわれた。

遮蔽体は、費用、ユティリティ、遮蔽能力などの条件の検討により改造を行なわず、35×35格子管集合体用に造られたものを使用した。

支持枠は、格子管集合体密着面の上下、左右方向の拡張、各1/2格子管集合体の上部締付枠の更新により、生体遮蔽体の中心が格子管集合体密着面の中心に一致するようにフレーム長を変更した。

取付台は、支持枠寸法の拡大に合わせ、既設取付台の上部と下部にフレームを追加した。

6.3 中心径方向単格子管および実験孔用スリーブ管その他

1. 中心径方向単格子管

35×35格子管集合体の固定側1/2集合体は第18行目の1燃料単位（50.8mm）だけ短格子管が使用されパルス実験の延長管が挿入できる構造となっている。この短格子管は51×51格子管集合体にも設けられるが、今回の改造では短格子管を除去した空間の利用を1歩進め、箔照射による径方向反応率分布の測定および径方向空間依存のスペクトル測定が容易にできるよう新規に径方向単格子管を製作した。

この単格子管はバンドル管と同じ引抜き管で製作されたが、格子管集合体に挿入される部分は炉心に装荷されたPu燃料の冷却風の流路を確保するため上面が開放した構造になっている。（固

定側格子管集合体に) 挿入された径方向単格子管は専用金具で固定され、移動テーブルが密着しても移動側格子管集合体に接触しないようになっている。

51×51格子管集合体組立後、装着検査が行われ移動側格子管集合体の引出し端面が炉心中心部の径方向単格子管上端にわずかに接触することがベアリングレッドで確認されたが、実用上支障がないのでそのまま使用することになった。Table.31に径方向単格子管仕様、Fig. 90に取付図を示す。

2.1 実験孔用スリーブ管

1/2集合体の水平半径方向及び垂直半径方向に、各単格子管毎に実験孔が設けられている。中性子カウンター駆動機構による測定が、任意の実験孔位置で、実験孔内の任意の位置に挿入引き抜き動作によりカウンターを設定するに、炉心材よりの保護と操作性の容易さ(可逆性の保証)よりスリーブ管が設けられている。

既設35×35格子管集合体においては、全ての実験孔に対し集合体側辺より中央単格子管までの長さのものが用意されたが、今回の拡張では使用経験を活かし、次の如く決められた。

垂直用	10本
水平用(51列)	10本
水平用(中心2パック)	10本

長さのみ異なる3種とし、他の仕様は全て既設のものに同一とした。各種10本の員数は、軸方向の適当な分布及び予備を含む員数ということで決められた。

スリーブ管の外径 18ϕ は、BNCコネクタが容易に挿入出来る寸法(16ϕ)として決められたが、今回拡張に際し、実験上及び近年の測定器具の進歩により外径 10ϕ のスリーブ管が提案されたが、格子管集合体組立の精度及び燃料板、模擬物質板の運用等の理由により採用されなかった。しかしながらこれは拡張工事とは切離して実用化されている。Fig. 91にスリーブ管装着図を示す。スリーブ管の仕様は次のとおりである。

① 材質 SUS304

② 寸法	外径	$18\phi \pm 0.15$
	内径	16.8ϕ (公称値)
	肉厚	0.6 ± 0.2
	曲り	1/1000 以内
	長さ	垂直用 1638 m/m
		水平用(51列) 3270 m/m
		水平用(中心2パック) 2001 m/m

(合わせ作業による長さを示す)

3. ドップラー引出しおよび中心引出し

ドップラー効果の測定に使用する引出しは格子管集合体中心の単格子管内をかなりのスピードで移動するために通常の炉心引出しに比べ厚い板で製作されている。このため引出しの内寸法が厚み分だけ小さく、35×35格子管集合体では標準寸法の炉心模擬板(Pu燃料含む)を使用することができなかった。

51×51格子管集合体ではこの点を改良することになり、ドップラー引出しが挿入される固定側移動側中心5×5バンドル管の中心だけ単格子管を抜いた構造にした。これにより引出しの挿入

に使用できる空間は $53.2\text{mm} \times 53.2\text{mm}$ から $54.8\text{mm} \times 54.8\text{mm}$ に拡大したので、 51×51 格子管集合体用のドップラー引出しを新規に製作することになった。板厚は旧ドップラー引出しと同じであるが、内寸法は標準寸法の炉心模擬板が使用できる大きさに製作された。 51×51 格子管集合体組立後、駆動機構に連結しての検査が行われ、挿入引拔が円滑に行われることが確認された。Table.32にドップラー引出しの仕様を示す。

中心引出しは中心 5×5 バンドル管の中心専用の引出しである。この中心部は今回の改造により単格子管がない構造になったため他の部分よりもSUSの原子密度が小さく、炉心中心に特異点があることは実験上のましくないことからその対策として中心引出しを製作した。

設計は中心引出しの位置的・寸法的特徴を整理しさらに実験側からの要望をとりいれ、形状および寸法は通常炉心引出しを基本にしたが、SUS量をあわせるために板を厚くし上面蓋を設けた。中心バンドル管組立後挿入検査を行ない使用できることを確認した。

Table 33に中心引出しの仕様を示す。

7. む す び

高速炉臨界実験装置 (FCA) の格子管格大およびそれに伴う改造は、1) 精力的に実験を行っている炉であるため工事期間を最少に留めること。2) 製作時期の異なる新旧2種の格子管を組み合わせ、累積する寸法誤差を旧集合体と同等域いは安全棒を考えるとそれ以上にしなければならないこと。3) 改造に際し安全棒二連駆動機構、引抜可能な3行×3列中心管、中心径方向格子管等新しい構造を盛り込んだこと等から極めて難かしく高度な作業であった。そのため本文に記されているように、いくつかの予期し得ない事態に直面した。これを解決するための努力は必ずしも直接表面に形や数値では現れてはいないが多大なものであり、結果的に所定の目標を達成したことにより十分実を結んだ、と共にその後のための貴重な経験となっている。

完成後4年余の年月を数え、その間改造に起因するトラブルは無く順調に稼働を続けていること、またひそかに心配した経年変化による格子管集合体のひずみも観測されていないことは、担当者一同の誇りとするところである。ただあえて不満を言えば、非常に労力のかかった中心3行×3列バンドル管、中心径方向管子管および中心軸特殊チャンネル等の新機能が未だ、活用されていないことである。今後これらの有効利用を切望する。

謝 辞

今回のFCA改造工事にあたっては、弘田実弥主任研究員、黒井英雄高速炉物理研究室長および飯島勉主任研究員 (現JT60第2開発室長)をはじめとして多方面の方々の積極的な御指導と御協力により無事に所期の目的を達成することができ、深く感謝致しております。

技術的問題に関しては技術部工作課の方々から全面的な支援をしていただき、無事に問題を解決することができました。また工事期間中はFCA管理機関の方々、施設課第5係の方々、放管FCA担当の方々の御協力と助言に深く感謝致します。また改造工事の契約業務を精力的にいただいた本部の契約課の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小川, 渡辺他高速炉臨界実験装置 (FCA) の改造 (II), 1977年。
- 2) 飯島, 中野他FCA VII - 1 集合体の臨界実験, 1976年
- 3) 藤崎, 中村他FCA炉心冷却設備の概要と熱的特性, 1971年。

7. む す び

高速炉臨界実験装置 (FCA) の格子管格大およびそれに伴う改造は、1) 精力的に実験を行っている炉であるため工事期間を最少に留めること。2) 製作時期の異なる新旧2種の格子管を組み合わせて、累積する寸法誤差を旧集合体と同等域いは安全棒を考えるとそれ以上にしなければならないこと。3) 改造に際し安全棒二連駆動機構、引抜可能な3行×3列中心管、中心径方向格子管等新しい構造を盛り込んだこと等から極めて難かしく高度な作業であった。そのため本文に記されているように、いくつかの予期し得ない事態に直面した。これを解決するための努力は必ずしも直接表面に形や数値では現れてはいないが多大なものであり、結果的に所定の目標を達成したことにより十分実を結んだ、と共にその後のための貴重な経験となっている。

完成後4年余の年月を数え、その間改造に起因するトラブルは無く順調に稼働を続けていること、またひそかに心配した経年変化による格子管集合体のひずみも観測されていないことは、担当者一同の誇りとするところである。ただあえて不満を言えば、非常に労力のかかった中心3行×3列バンドル管、中心径方向管子管および中心軸特殊チャンネル等の新機能が未だ、活用されていないことである。今後これらの有効利用を切望する。

謝 辞

今回のFCA改造工事にあたっては、弘田実弥主任研究員、黒井英雄高速炉物理研究室長および飯島勉主任研究員 (現JT60第2開発室長)をはじめとして多方面の方々の積極的な御指導と御協力により無事に所期の目的を達成することができ、深く感謝致しております。

技術的問題に関しては技術部工作課の方々から全面的な支援をしていただき、無事に問題を解決することができました。また工事期間中はFCA管理機関の方々、施設課第5係の方々、放管FCA担当の方々の御協力と助言に深く感謝致します。また改造工事の契約業務を精力的にいただいた本部の契約課の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小川, 渡辺他高速炉臨界実験装置 (FCA) の改造 (II), 1977年。
- 2) 飯島, 中野他FCA VII - 1 集合体の臨界実験, 1976年
- 3) 藤崎, 中村他FCA炉心冷却設備の概要と熱的特性, 1971年。

7. む す び

高速炉臨界実験装置（FCA）の格子管格大およびそれに伴う改造は、1) 精力的に実験を行っている炉であるため工事期間を最少に留めること。2) 製作時期の異なる新旧2種の格子管を組み合わせて、累積する寸法誤差を旧集合体と同等域いは安全棒を考えるとそれ以上にならなければならないこと。3) 改造に際し安全棒二連駆動機構、引抜可能な3行×3列中心管、中心径方向格子管等新しい構造を盛り込んだこと等から極めて難かしく高度な作業であった。そのため本文に記されているように、いくつかの予期し得ない事態に直面した。これを解決するための努力は必ずしも直接表面に形や数値では現れてはいないが多大なものであり、結果的に所定の目標を達成したことにより十分実を結んだ、と共にその後のための貴重な経験となっている。

完成後4年余の年月を数え、その間改造に起因するトラブルは無く順調に稼働を続けていること、またひそかに心配した経年変化による格子管集合体のひずみも観測されていないことは、担当者一同の誇りとすることである。ただあえて不満を言えば、非常に労力のかかった中心3行×3列バンドル管、中心径方向管子管および中心軸特殊チャンネル等の新機能が未だ、活用されていないことである。今後これらの有効利用を切望する。

謝 辞

今回のFCA改造工事にあたっては、弘田実弥主任研究員、黒井英雄高速炉物理研究室長および飯島勉主任研究員（現JT60第2開発室長）をはじめとして多方面の方々の積極的な御指導と御協力により無事に所期の目的を達成することができ、深く感謝致しております。

技術的問題に関しては技術部工作課の方々から全面的な支援をしていただき、無事に問題を解決することができました。また工事期間中はFCA管理機関の方々、施設課第5係の方々、放管FCA担当の方々の御協力と助言に深く感謝致します。また改造工事の契約業務を精力的にいただいた本部の契約課の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小川, 渡辺他高速炉臨界実験装置（FCA）の改造（Ⅱ）, 1977年。
- 2) 飯島, 中野他FCAⅦ-1集合体の臨界実験, 1976年
- 3) 藤崎, 中村他FCA炉心冷却設備の概要と熱的特性, 1971年。

付 録

中性子源駆動機構改造に伴う中性子源カプセル脱着作業要領

1. 中性子源 (FCA起動用)

Am - Be 5C

移動側・固定側各1個 計2個

2. 改造内容

- 2.1 移動側・固定側夫々同様に行なう。
- 2.2 駆動用フレキシブル・シャフトより取外す作業がある。取外した中性子源は一時貯蔵する。
- 2.3 51×51用フレキシブル・シャフトにダミー・カプセルを取付け、これによりそう入、引抜き、途中位置等の試験仕様書による試験を行なう。
- 2.4 試験終了後ダミー・カプセルを取外し中性子源カプセルの取外を付なう。

3. 中性子源脱着の方法・手順

5CのAm - Be 中性子源を取扱うことにより被曝が予想される為、次に示すコールド・ランの方法、手順を提案し、これにより被曝量の評価を行ないホット・ランを行なった。

3.1 方法・手順

- 1) 中性子源の一時貯蔵庫を用意する。
- 2) 固定側の手順について示す。(移動側も同様である)
 - a) 一時貯蔵庫をPNSプラット・フォーム上に据付ける。これは直ちにクレーンで吊り上げられる状態にしておく。
 - b) 中性子源容器のガイド・チューブのセット
ガイド・チューブの格子管集合体端側を開放し、FCAプラット・フォーム上に向ける。
 - c) 中性子源の取外し
一時貯蔵庫は中性子源取付・取外しの治具と遮蔽能力を持っており、中性子源駆動装置を運転することによりプラット・フォーム上に中性子源カプセルを現出させ、フレキシブルシャフトを押えてカプセルを一時貯蔵庫に挿入する。フレキシブルシャフトを容器に押し付けカプセルを固定し、一時容器についているハンドルを廻すことにより、フレキシブル・シャフト先端にネジこまれているカプセルを外す。
 - d) クレーンで貯蔵場所に運搬する。
 - e) 固定側中性子源取外し作業終了。
 - f) 取外した中性子源カプセルの取付作業は、以上の作業を逆の順序で行なう。
 - g) 移動側中性子源カプセルの脱着作業も以上の固定側作業に準じて行なう。

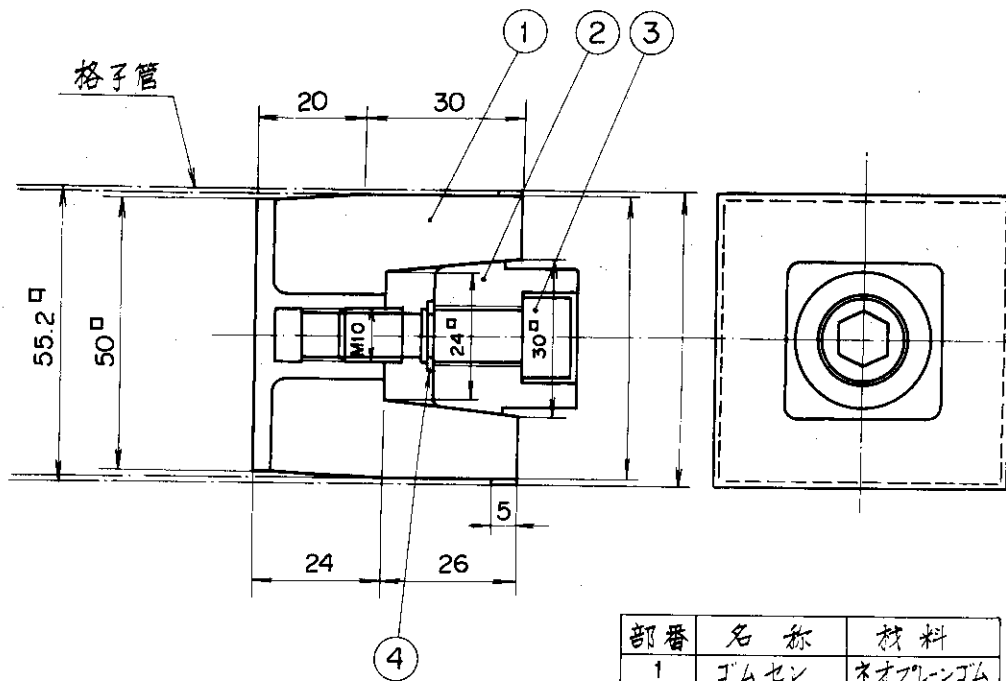
3.2 作業者の放射線防護

- 1) 局部：含鉛手袋，含鉛眼鏡の使用。
- 2) 全身：含鉛前かけ使用。

(3) 線質としては中性子と γ 線である。

3.3 その他

中性子源駆動機構運転時は，制御室，炉室間の連絡をトランシーバーにより行なった。



部番	名称	材料
1	ゴムセン	ネオプレンゴム
2	押付金具	SS41
3	六角穴付ボルト	SCM3
4	Eトメワ	鉄

付録 1 格子管ゴムセン